

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 Research Bib та Google Scholar. Категорія А Міністерства освіти і науки України.

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 Research Bib and Google Scholar. Rank A of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

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 Research Bib и Google Scholar. Категория А Министерства образования и науки Украины.

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР**РЕДАКЦІЙНА
КОЛЕГІЯ**

В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. головн. 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.; 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:

А. Веснавер, Італійський національний інститут океанографії та прикладної геофізики, Італія; Т. Діндароглу, Університет Кахраманмарас Сутцу Імам, Туреччина; А. Ель Албані, Університет Пуатьє, Франція; К. Зенг, Китайський геологічний університет, Китай; О. Івахненко, Казахстансько-Британський технічний університет, Казахстан; А. Коронеос, Університет Арістотеля в Салоніках, Греція; К. Лі, Китайський геологічний університет, Китай; М. Олівія, Лісабонський університет, Португалія; П. Перейра, Університет Миколаса Ромеріса, Литва; В. Портнов, Карагандинський державний технічний університет, Казахстан; С. Спассов, Геофізичний центр Доурбес, Бельгія; В. Шмідт, Університет Мюнстера, Німеччина

Адреса редколлегии

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна
☎ (38044) 431 04 40; електронна адреса: geolvisnyk@ukr.net;
<http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua>

Затверджено

Вченою радою ННІ "Інститут геології"
2 червня 2021 року (протокол № 17)

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

б-р Тараса Шевченка, 14, м. Київ, 01601, Україна;
☎ (38044) 239 32 22, 239 31 72; 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 Research Bib and Google Scholar. Rank A of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

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 Research Bib та Google Scholar. Категорія А Міністерства освіти і науки України.

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 Research Bib и Google Scholar. Категория А Министерства образования и науки Украины.

Chief publication manager O. Menshov

EDITOR-IN-CHIEF**EDITORIAL BOARD**

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

Ukrainian Members:

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher (Deputy Editor-in-Chief); 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.; V. 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.; 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:

T. Dindaroğlu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Turkey; A. El Albani, Université de Poitiers, France; O. Ivakhnenko, Kazakh British Technical University, Kazakhstan; A. Koroneos, Aristotle University of Thessaloniki, Greece; 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; V. Schmidt, Münster University, Germany; S. Spassov, Geophysical Center of Dourbes, Belgium; A. Vesnaver, Italian National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, Italy; Q. Zeng, China University of Geosciences, China

Address

Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine, tel. (38044) 431 04 40; e-mail: geolvisnyk@ukr.net; <http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua>

Approved by the

Academic Council of the Institute of Geology
June 2, 2021 (Minutes # 17)

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,
Publishing and Polygraphic Center "Kyiv University",
State Certificate # 1103 issued on 31.10.2002

Address

14, Taras Shevchenko blv., Kiev, 01030, Ukraine
☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; Fax 239 31 28

ЗМІСТ

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Кірін Р., Баранов П., Козьяков І. Гемологічне право України: проблеми формування та перспективи розвитку.....	6
Сплодитель А. Еколого-геохімічна оцінка розподілу техногенних елементів на території Ківерцівського національного природного парку "Цуманська Пуща"	15
Іванченко В., Берьозкіна Л., Стеценко В., Ковальчук Л. Актуальні завдання шліхового аналізу сучасних донних осадків	24

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Михайлов В., Курило М., Кошарна С. Геолого-промислова оцінка та ранжування перспективних об'єктів вітчизняної бази рідкісноземельних елементів.....	32
Мансуров М. Особливості розташування та умови формування Кошкарчайського мідно-порфірового родовища (Малий Кавказ, Азербайджан).....	41
Імамвердієв Н., Баба-заде В., Мурсалов С., Валієв А., Мансуров М., Ісмаїлова А. Перспективи освоєння нового рудного вузла Угур на північному заході Кедабекського рудного району (Малий Кавказ, Азербайджан).....	53
Харитонов Т., Носік В., Коструба А., Михайлов В., Курило М. Співвідношення категорій "надрокористування" і "землекористування" при використанні підземного простору	64

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Шевченко О., Скорбун А., Осадчий В., Чарний Д. Мінливі ритми в режимі ґрунтових вод та їх зв'язок з кліматичними чинниками	71
Лопушняк В., Грицуляк Г., Тонха О., Меньшов О., Піковська О., Сичевський С. Вміст важких металів у ґрунтах нафтозабруднених територій Передкарпаття	83
Мєдведева О., Кошлякова І., Диняк О. Гідрохімічний стан ґрунтових вод у межах міста Татарбунари Одеської області	89

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Лубков М., Захарчук О. Моделювання процесів витіснення в неоднорідних анізотропних газоносних пластах	94
Лазоренко-Гевель Н., Галіус І., Зацерковний В., Денисюк Б., Шудра Н. Особливості створення геоінформаційного забезпечення для ведення моніторингу Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника.....	100
Гетманець О., Пеліхатий М. Самонавчальні нейронні карти в задачах екологічного моніторингу.....	112

CONTENTS

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Kirin R., Baranov P., Koziakov I. Gemological law of Ukraine: formation problems and development prospects.....	6
Splodytel A. Ecological and geochemical estimation of the spreading of technogenic elements in the territory of Kivertsiv national natural park "Tsumanska Pushcha"	15
Ivanchenko V., Berozkina L., Stetsenko V., Kovalchuk L. Schlich mineralogical analysis for research of modern bottom sediments	24

MINERAL RESOURCES

Mykhailov V., Kurilo M., Kosharna S. Geological industrial assessment and ranking of promising objects of the domestic base of rare earth elements	32
Mansurov M. Location peculiarities and evolution of Koshkarchay copper-porphyre field (Lesser Caucasus, Azerbaijan)	41
Imamverdiyev N., Baba-zadeh V., Mursalov S., Valiyev A., Mansurov M., Ismayilova A. Prospects of newly discovered Ugur area in the northwest of the Gedabey ore district (Lesser Caucasus, Azerbaijan).....	53
Kharytonova T., Nosik V., Kostruba A., Mykhailov V., Kurilo M. The correlation between land and subsoil use when using underground space	64

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Shevchenko O., Skorbun A., Osadchiy V., Charny D. Variable rhythms in groundwater regime and their relationship with climate factors	71
Lopushnyak V., Hrytsulyak H., Tonkha O., Menshov O., Pikovs'ka O., Sychevs'kyi S. Content of heavy metals in soils of oil-polluted areas of Pre-Carpathian	83
Miedviedieva O., Koshliakova I., Dyniak O. Hydrochemical condition of ground water within the city of Tatarbunary of Odessa region	89

GEOLOGICAL INFORMATICS

Lubkov M., Zaharchuk O. Modeling of displacement processes in heterogeneous anisotropic gas reservoirs.....	94
Lazorenko-Hevel N., Galus I., Zatserkovnyi V., Denysiuk B., Shudra N. Specificities of the creation of geoinformation maintenance of the territory of Chornobyl radio-ecological biosphere reserve for geoinformation monitoring conduction	100
Getmanets O., Pelikhatyi M. Self organizing neural maps in the problems of ecological monitoring	112

СОДЕРЖАНИЕ

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Кирин Р., Баранов П., Козьяков И. Геммологическое право Украины: проблемы формирования и перспективы развития.....	6
Сплодитель А. Эколого-геохимическая оценка распределения техногенных элементов на территории Киверцовского национального природного парка "Цуманская Пуща"	15
Иванченко В., Берёзкина Л., Стеценко В., Ковальчук Л. Актуальные задания шлихового анализа современных донных осадков.....	24

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Михайлов В., Курило М., Кошарна С. Геолого-промышленная оценка и ранжирование перспективных объектов отечественной базы редкоземельных элементов.....	32
Мансуров М. Особенности размещения и условия формирования Кошкарчайского медно-порфирового месторождения (Малый Кавказ, Азербайджан)	41
Имамвердиев Н., Баба-заде В., Мурсалов С., Валиев А., Мансуров М., Исмаилова А. Перспективы освоения нового рудного узла Угур на северо-западе Кедабекского рудного района (Малый Кавказ, Азербайджан)	53
Харитонов Т., Носик В., Коструба А., Михайлов В., Курило М. Соотношения категорий "недропользования" и "землепользования" при использовании подземного пространства.....	64

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Шевченко А., Скорбун А., Осадчий В., Чарный Д. Изменчивые ритмы в режиме грунтовых вод и их связь с климатическими факторами.....	71
Лопушняк В., Грицуляк Г., Тонха О., Меньшов А., Пиковская Е., Сычевский С. Содержание тяжелых металлов в почве нефтезагрязненных территорий Прикарпатья.....	83
Медведева О., Кошлякова И., Диняк О. Гидрохимическое состояние грунтовых вод в пределах города Татарбунары Одесской области.....	89

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Лубков М., Захарчук О. Моделирование процессов вытеснения в неоднородных анизотропных газоносных пластах.....	94
Лазоренко-Гевель Н., Галиус И., Зацерковный В., Денисюк Б., Шудра Н. Особенности создания геоинформационного обеспечения для ведения геоинформационного мониторинга Чернобыльского радиационно-экологического биосферного заповедника.....	100
Гетманец О., Пелихатый Н. Самообучающиеся нейронные карты в задачах экологического мониторинга.....	112

R. Kirin, Dr. Sci. (Law), Assoc. Prof., Leading Researcher,

E-mail: kirinr@ukr.net;

V. Mamutov Institute of Economic and Legal Research of NAS of Ukraine;

P. Baranov, Dr. Sci. (Geol.), Prof., Forensic expert,

E-mail: pn2dsbaranov@gmail.com;

Dnipropetrovsk Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine,

Constructional dead-end street, 1, Dnipro, 49033, Ukraine;

I. Koziakov, Dr. Sci. (Law), Prof.,

E-mail: igorkoziakov@gmail.com

Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman

54/1 Peremoga Avenue, Kyiv, 03057, Ukraine

GEMOLOGICAL LAW OF UKRAINE: FORMATION PROBLEMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Нескеровським)

The article analyzes the scientific and legislative provisions connected with the specificity of the legal regulation of relations in the field of gemological activity and gemological objects. The current state of sources of gemological law and their belonging are investigated, which is nowadays ambiguous, since they get to a system of currency law (a component of financial and credit or budgetary and financial legislation) as well as to a system of industrial legislation, while having the provisions of mining, economic, civil, administrative, fiscal, customs and expert legislation in the contents. It is proposed to consider gemological law as a set of legal norms regulating public relations in the field of organizing and carrying out gemological activities connected with the acquisition of the right to use, mining, property, use and operations with gemological objects in the form of subsoil, mineral, production and secondary resources, control over their turnover and expertise.

It is noted that consideration of precious stones and precious metals, having geological and mineralogical, physicochemical, jewellery and industrial, and legal differences, as the complex object in the context of the domain of the unified legislative act, intended to be a basis of new market relations in the field of jewellery transactions, could be regarded as the justified one only at the early stage of legislative base formation for the field. Provisions are given, according to which it is recognized that the current law is outdated, since its subject of regulation has been transferred mainly to the subordinate level; the mechanisms for replenishing state funds provided in it are contradictory, incomplete and practically not implemented in practice; the form of restrictions in the circulation of valuable objects and their validity are debatable; relations of the quality and safety of products, consumer protection, ensuring a balance of public and private interests, equality of business entities, competitiveness of the industry need updating in European integration legal regulation.

For the first time in the context of geological and legislative science, the authors propose to form a structure of the gemological law system based upon the principles of differentiation of a type of gemologically important activities for generic derivatives (i.e. gemological and resource law; right of gemological circulation; right of gemological expertise etc.) as well as a type of gemological objects and resources for direct groups. Development prospects of gemological legislation are connected with its reduction to a certain agreed system and its unity provision by means of the internal and external improvement of contents and development of the Gemological Code of Ukraine.

Keywords: *gemological legislation, precious stones, circulation of precious stones, gemological resources, gemological activities.*

Statement of the problem. In terms of market conditions, natural gemstones (i.e. precious stones, semi-precious stones, and ornamental ones) may be among the most commercial budget filling minerals. Certain types and deposits of the stones may be quite profitable in terms of relatively insignificant time consumption and cash expenditures connected with their exploration and development. To compare with other types of natural ornamental stones, amber is the most competitive one in Ukraine. Marketing of the finished luxurious amber products may become the reliable source to fill the state treasure with money inclusive of currency. These are the development prospects of a branch, connected with gem stone raw material, and related to "Other non-metallic raw material" group. The prospects are a part of the National Programme for the Development of Mineral Resource Base of Ukraine up to 2030 (*Про затвердження Загальнодержавної програми, 2011*).

In terms of industrial and economic importance, the total of the raw material varieties belong to Г category; i.e. to the types of mineral raw material which are not developed today being understudied. However, in future they may become significant for the national economy taking into consideration the needs of other industries. Moreover, the raw material group is characterized as follows: 1) it involves such types, being traditional for Ukraine, as amber, topaz, beryl, and rock crystal; 2) the estimated reserves of amber, onyx marble, and rhodonite; and 3) the detected manifestations of emerald, aquamarine, ruby, garnet, amethyst and other jewellery

ornamental stones; however, their prospects have not been clarified.

Individual group, called "precious stones and diamonds" involves the first-order precious stones, i.e. diamond determined as the important raw material type belonging to Г category. The three areas of kimberlite and lamproite magmatism (i.e. indigenous diamond sources) have been prospected in Ukraine: the north of Volyn-Podillia plate; central part of Ukrainian Crystalline Shield; and Pryazovii Block and area of its rock mass jointing with Donbas.

The relationships, connected with the development, production, use, and storage of precious metals and precious stones (hereinafter, PMs&PSs); precious stones of organogenic origin (hereinafter, PSOF); and semi-precious stones (hereinafter, SPSS) as well as control over transactions with them are controlled by: a) Law of Ukraine "On the State Regulation of Mining, Production and Use of Precious Metals and Precious Stones and Control over Transactions with them" (hereinafter, PM&PS); b) other Laws of Ukraine; and c) regulations (hereinafter, Rs), adopted in accordance with them (*Про державне регулювання видобутку, 1997, Art.2*).

Unfortunately, there is no question of sufficiency and quality of legal settlement of gemological relationships as well as relationships in the field of precious stones which influences respectively the problems of formation and future of the national gemological right and legislation.

Analysis of the recent research. The fact is that there are publications in terms of the study. However, they

concern either certain problems of PMs&PSs legislation of specific features of the branch regulation of corresponding relationships. In this context, the paper by Yu.O. Titova (*Тимова, 2012*) is the most noticeable one where the author considers normative principles of PMs&PSs transactions in Ukraine while separating Rs system to identify both legislative and organizational foundations of administrative and legal control over PMs&PSs transactions being a set of laws and bylaws (being in force at that time). They are of hierarchic structure to create legal boundaries for the implementation, namely: international acts being a part of the national legislation of Ukraine; Constitution of Ukraine and Codes of Ukraine (i.e. Commercial Code, Tax Code, and Code on Administrative Offences); Laws of Ukraine; Decrees of the President of Ukraine and Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine (hereinafter, CMU); Orders of the Ministry of Finance of Ukraine; Orders of the National Bank of Ukraine (hereinafter, NBU); and Rs, containing technical requirements. Taken together, they form appropriate system of technical and legal norms. In our viewpoint, the author of the paper notes on the record rather than makes a scientific conclusion concerning the fact that regulations of PMs&PSs transactions are numerous legislative acts which can be divided conditionally into the two groups: 1) those controlling relationships arising in the process of PMs&PSs transactions; and 2) those identifying legal foundations to control PMs&PSs transactions (*Тимова, 2012, p. 102*).

Obviously, these differentiations into transaction relationships and control ones in the field of PMs&PSs is based upon a law on PMs&PSs in terms of which transaction relationships involve contacts concerning PMs&PSs mining, production, use, storage, and marketing (Chapter 2 of the Law); and control relationships involve contacts of the state control over PMs&PSs transactions (Chapter 3 of the Law).

Certain features of Ukrainian legislation, controlling PMs&PSs transactions, mentioned by the author of the paper, attract certain attention (*Тимова, 2012, p. 103*). They are the following: numerous (almost 100) bylaw Rs, specifying one law in the field of PMs&PSs transactions in turn factoring into the instability and internal inconsistencies of legislative acts in the field of PMs&PSs transactions; interbranch nature since the provisions in the field of PMs&PSs transactions involve regulations of constitutional, administrative, financial, commercial, civil, and customs laws; declarativity of many legislation provisions, concerning PMs&PSs transactions, and nonavailability of the mechanisms to implement the regulations; complexity since the current legislation regulates legal relationships concerning all transaction aspects of precious metals as well as precious stones; and a tendency to liberalize PMs&PSs transactions.

V.P. Romanov, another scholar in the administrative and legislative field, represents proper works (*Романов, 2017, p. 5-6*) noting that his thesis develops a characteristic of regulatory frameworks of PMs&PSs transactions, which make up Rs, identifying: 1) rules of mining and production (inclusive of refining and salvage); use, storage, and marketing of PMs&PSs and goods made of them (inclusive of jewellery); 2) rules of their delivery to places where the reserves are stored; 3) exhibition rules for such items; 4) legal status of players providing PMs&PSs transactions; 5) rules of pawnshop lending to the population on the security of PMs&PSs items; 6) accrediting and training procedure for gemology experts; 7) procedure to import PMs&PSs and materials, containing them, in the customs territory of Ukraine and export from it (or forwarding); 8) order to register imprints of owners; 9) procedure of records, setting-up, and maintenance of the economic entities engaged in PMs&PSs; 10) and procedure of a touch control as well as

implementation of legal responsibility measures for the law violation in the field.

However, the approach to systemize legislation Rs in the field of PMs&PSs can hardly be considered as the successful one from the viewpoint of both subjective and objective criteria. For instance, integration of the diversified Rs, controlling PMs&PSs mining, production, use, storage, and marketing, into the unified unit, cannot correspond to any type of legislation system development relying upon the contents of the actions and their results.

Somewhat earlier than the previous author, O.M. Malichenko proposed to consider following organizational and legal measures of public administration bodies as the tendencies to improve the efficiency of legal control over PMs&PSs transactions in Ukraine: centralization and revision of functions of governmental agencies in terms of administrative reform; development and legislative legalization of the Concept of PMs&PSs transactions improvement; decrease in control by regulatory authorities over the field of PMs&PSs by means of the decreased number of revisals; and development of a joint action programme by The Ministry of Finance, the State Assay Service of Ukraine, the State Gemological Centre of Ukraine (further, SGCU), and the State Fund of PMs&PSs in Ukraine in the context of the field under study (*Маліченко, 2012, p. 15*).

From the economic and legislative viewpoint, K.V. Yefremova has developed a three-stage model to systemize legal control over the business activities in the field of item production using PMs&PSs. At an element level, the model should involve a number of laws (*Єфремова, 2009, p. 8*): 1) the modernized basic PMs&PSs law which has to gain a status of the codified Rs (a market as an hierarchic structure with each phase and the related industries will become its subject rather than the items as such; moreover, the market provisions should involve all the related production types); 2) the specialized laws such as a law on the quality of PMs&PSs items; and 3) laws controlling relationships in the market of PMs&PSs items in terms of certain sector of the market (i.e. laws on pawnshops and pawnshop activities in Ukraine; laws on the state monopolies and holding companies).

A conclusion, made by the author (*Єфремова, 2009, p. 5-6*) is that the market of PMs&PSs items being a complex subject of legal regulation and consisting of several segments is also worth noticing. The segments are as follows: raw material base formation; manufacturing of items; marketing; and secondary market (i.e. commission trade, utilization and processing). The segments have their officially permitted significance being individual subjects of legal industrial policy within the branch. To provide economic and legislative regulation of the relationships in the context of the branch, it is expedient to consider it autonomously relying upon availability of the two sectors: 1) jewellery market; and 2) market of industrial products.

Expert in the field of public administration, K.M. Semeniuk has improved scientific substantiation of certain disadvantages of the regulatory framework as for the state regulation of Ukrainian jewellery industry by means of their separation (*Семениук, 2015, p. 9*): lack of technical norms and quality standards for jewellery which would regulate the amount of the precious metal and its assay as well as quality and content of the base impurities, coating etc.; prohibition for economic entities, engaged in the production and sale of jewellery, to use a simplified taxation system in their activities; abolition from October 2012 of the right of jewellery manufacturers, who branded their own products with the state assay, to perform such operations; nonavailability of accurate determination of control components being a mechanism of the state test control as well as governmental bodies effecting the control etc.

Finally, K.Yu. Dikhtiarenko believes that in his thesis (Діхтяренко, 2019, p. 4) he has improved substantiation of the expediency to delimitate legal control of PMs&PSs, PSOF, and SPSs transactions taking into consideration features of the items as the material world objects; geological structure of the territorial shelf of Ukraine; mining conditions in the country; and legal regime of the transactions stipulated by the fact that precious stones do not belong to gold and foreign exchange reserves of the country, cannot be used as the international reserve fund, and cannot be considered as currency values.

The word combination proposed by the mentioned author, i.e. "geological structure of the territorial shelf of Ukraine", seems as incorrect set of phrases for geological terminology as well as for legal one.

Hence, the analysis of certain results of the studies by the national scholars in the field of legal regulation of PMs&PSs transactions has demonstrated the necessity and supported the possibility of further analytical activities to clarify the current state and specific features of terms of Rs reference, regulating gemological relationships, with the substantiation of the findings.

Thus, the **purpose of the paper** is searching for the arguments to substantiate scientific foundations of the gemological right consideration as the specific legal structure within the national legislative system.

For the purpose, the paper involves study of the following parts of a general problem which were not solved previously:

- identification of the formation genesis of the source base of the gemological right;
- determination of the external belonging of the regulations of the gemological legislation;
- detection of integration features of two different mineral resources as an object of legal regulation of one law;
- analysis of gemological component of the Law on Precious Metals and Precious Stones;
- further studies of legal status of the State Gemological Centre of Ukraine, and legal regime of Certification scheme of Kimberley process; and
- substantiation of the development prospects of a gemological right subject.

Statement of the main material. 1. Forming the source base of the gemological right. Current Ukrainian gemological legislation begins upon at the turn of 1991 when the Presidium of the Verkhovna Rada of Ukraine adopted a resolution "On the Establishment of Reserve of Precious Metals and Precious Stones in Ukraine" (*Про створення запасу дорогоцінних металів, 1991*). Among other things, the CMU set a mission to provide the state assay supervision, and put under control the use of PMs&PSs by the national enterprises and institutions.

To develop the unified national control system of PMs&PSs transactions and provide their rational use, following resolution by the Verkhovna Rada of Ukraine "On the Provision of Rational Use of Precious Metals and Precious Stones" delegates the CMU: 1) in a month's time, to prepare a statutory instrument in cooperation with the NBU to regulate a problem of sharing functions concerning production, processing, mining, use, and development of PMs&PSs reserve; and 2) to draw up and approve the national programme to create a raw material base of PMs&PSs, processing industry, and provide the state regulation of their marketing (*Про забезпечення раціонального використання, 1993*).

Resolution by the CMU "On the Commercial Classification and Assessment of the Value of Natural Stones" is the important R of gemological legislation (*Про загальну класифікацію та оцінку вартості, 1994*). In addition to the commercial division of natural stones into:

1) precious stones (1st-4th orders); 2) SPSs (1st-2nd orders); and 3) ornamental stones, it has been determined that changes in the classification are made by the CMU on the request of the Ministry of Ecology and Natural Resources and The Ministry of Finance. Cost evaluation of natural stones and issuance of a certificate of their assessment in the form approved by the Ministry of Finance was put on the SGCU; in cooperation with the SGCU, the State Customs Service of Ukraine had to provide training of specialists to supervise transfer of the natural stones through the customs border of Ukraine.

Later, the Parliament focused on the activities to adopt a law controlling the certain type of civil and law relations originated by the Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine on the 17th of October 1994 (#169/94-ПВ). The activities resulted in the adoption of corresponding law (*Про визначення розміру збитків, 1995*).

Finally, at the end of 1997, open-ended discussions and modifications resulted in the adoption of PMs&PSs Law determining legislation foundations and principles of the national regulation of mining, production, use, and PMs&PSs storage as well as control over their transactions (*Про державне регулювання видобутку, 1997*). Namely, in addition to chapters one (i.e. "General provisions") and four (i.e. "Final provisions"), the PMs&PSs Law regulates two more groups of relationships in the field of PMs&PSs, specifically: 1) control over PMs&PSs mining, production, use, and marketing; and 2) governmental control over PMs&PSs transactions.

Consequently, formation of the current source base of Ukrainian gemological right is in progress from gaining independence being characterized by the availability of the basic legislative act as well as numerous bylaw regulations.

2. External belonging of regulations of gemological legislation. The structure of Law on the PMs&PSs demonstrates obvious intersubjectivity of legal regulation. In such a way, a classifier by the Ministry of Justice (*Про затвердження Класифікатора галузей законодавства, 2004*) refers gemological legislation and precious metal legislation called as "Precious metals and precious stones" (code 110.120.050) to such a Rs unit as "Currency Regulation" (code 110.120.000); in turn, the unit is a part of financial and credit legislation (code 110.000.000 "Finance and credit").

On the other hand, in terms of the Parliament legal classification proposed by the information retrieval system "Legislation of Ukraine", the gemological component (i.e. Precious metals, precious stones", code 20130 30) can be found in "Currency Law" chapter (code 20130), being a part of budget and financial legislation (code 20), as well as in the industrial legislation (code 160 "Legislation on the activities of industrial branches"); namely, such a chapter as "Inventory, supply of precious metals, diamonds, and precious metals for industrial needs" (code 160 20).

Hence, separation of the relationships of industrial use of precious stones is quite obvious: 1.1) for jewellery needs; 1.2) for art and industrial, and stone-cutting needs; and 1.3) for industrial and technical needs. Moreover, it is necessary to take into consideration the available relationships to use precious stones for scientific and cultural purposes: 2.1) for exposition needs (i.e. museum and collections); 2.2) for research activities; 2.3) for expert evaluation; and for financial purposes: 3.1) for needs to form bank assets; 3.2) for economic needs (i.e. storage, marketing, and other operations); and for medical and religious purposes: 4.1) for the needs of medical geology, lithotherapy; and 4.2) for religious, ceremonial, and magic needs.

Statutory provision on PMs&PSs Law should also be taken into consideration in terms of which the National PMs&PSs Fund has been assigned to provide production, financial, scientific, sociocultural, and investment needs of Ukraine.

Probable, the recent belonging of gemological legislation to the system of financial legislation looks like conventional. First of all, it can be justified by a semantic link of such categories as "financial" and "precious" as well as by a legal status of the Ministry of Finance. The matter is that provision of the formation and implementation of the national policy in the field of PMs&PSs, PSOF, and SPSs mining, production, use, storage, transactions, and accounting are among the most important missions of the governmental agency (*Про затвердження Положення ...*, 2014). The abovementioned supports the idea that current stage of the development of system of regulations of gemological legislation has not any unified position concerning its external belonging to the formed legislation branches.

3. *Integration of two different mineral resources as an object of legal regulation of one law.* The unifying criterion for PMs&PSs is the following. In terms of their significance, the two groups belong to minerals of the national importance. According to a list by the CMU (*Про затвердження переліків корисних копалин*, 2011) "precious metals" are metallic ores of precious metals (i.e. gold, silver, and platinum group metals). Among other things, "non-metallic minerals" class involves such groups as "jewellery raw materials (precious stones including 44 mineral types)", and "jewellery-ornamental raw materials (SPSs including 19 mineral types)".

As for the Mineral Classifier ДК 008:2007 (*Класифікатор корисних копалин*, 2007), it groups stones somewhat differently. 30 000 000 class, being "Non-metallic minerals", contains 35 000 000 group, i.e. "Precious and collectable stones". In turn, the latter includes following subgroups: 35 001 000 "Jewellery raw materials" (i.e. precious stones involving 47 mineral types; 35 002 000 "Jewellery-ornamental raw materials" (SPSs involving 28 mineral types); 35 003 000 "Ornamental raw materials" involving 30 mineral types; 35 004 000 "Precious stones of organogenic formation" involving 8 mineral types; and 35 005 000 "Collectable stones" involving precious stones; SPSs; ornamental stones; stones of organogenic formation; as well as optic and piezo-optic stones being unfitted for the basic type of use).

In this context, the "precious stones" term includes the following: 1) gems; 2) SPSs; 3) ornamental stones; and 4) collectable ones. Moreover, it is applied for organic and inorganic minerals and rocks where qualitative indices are determined by crystalline and structural as well as physical and mechanical properties which quality corresponds to the demands of jewellery and stone cutting industry to be used to manufacture jewels and the applied-purpose artefacts.

In terms of the latter, it should be noted that according to the legislation on the folk arts and crafts, such a manufacturing type as the "Stone art" involves following product group as the carved memorial signs; table lamps; vases; ashtrays; boxes; decorative sculpture; decorative plastic of minor forms; bijoux; stone details of architectural constructions etc (*Деякі питання реалізації Закону України*, 2002).

Following determination of intergroup and group nature also come under notice:

1) "precious and semiprecious stones" being crystals of clear and pure mineral types; colourless or bright; having certain hardness, chemical resistance; those being amendable to polishing and cutting; and those being durable in items;

2) "ornamental stones" being a group of minerals and rocks where quality is determined with the help of physical as well as physicochemical properties and chemical composition. They are applied either as a technical material or to produce artefacts and souvenirs; and

3) "collectable stones" being samples of minerals, mineral aggregates, and rocks of scientific or educational interest and having decorative and artistic value.

"Precious and collectable stones" composition (i.e. gemstones, SPSs, decorative stones, and precious stones of organogenic origin) corresponds to the available classifications taking into consideration data concerning their use and market value. Following morphological types are separated in their composition: individual crystals; druses; crystal aggregates; and crystals in rocks.

Classification division of 20 000 000 class "Metallic minerals" into groups, subgroups, and their composition (i.e. types) is based upon a provision by the abovementioned Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine #837 of 12.12.1994. Namely, group 24 000 000 "Noble metal ores" (i.e. ores of noble metals applied to recover precious metals and their alloys: gold ores, silver ores, and platinum group metals) includes 3 subgroups involving 20 mineral types.

The term "Metallic minerals" is considered as ores which mineral composition and physicochemical characteristics make it possible to obtain ferrous metals, nonferrous metals, rare metals, rear-earth metals, precious metals, and radioactive metals as well as their alloys and compounds.

As the objects of legal relations, precious stones and metals also differ at almost each stage of internal transactions acting as follows: subsoil resources; mineral raw materials before their processing, during it, and after it; industrial raw materials; goods for transactions in the consumer market; and secondary raw materials. For instance, experts in the fields of geology and mining differentiate minerals in terms of their origin, source, physical state, occurrence conditions, industrial use, importance etc. Their deposits are divided into geogenic formations (primary and placer) and technogenic ones. Mining process of precious stones includes their extraction, gradation, classification, and primary evaluation.

While expertizing PMs&PSs, specialists make their early assumptions relying upon the overall view and colour of the metal or stone. However, the determination accuracy may be supported by measuring one or another optical or physical constant. Generally, they involve: a) refractive index; birefringence and dispersion values; colour; absorption spectrum, and specific gravity for stones plus such additional factors as glance, dichroism, pleochroism, polarization, asterism, luminescence, hardness, cleavage and fracture, separateness, density, and lucidness; and b) density, hardness, and specific gravity of hardeners (i.e. allowable impurities) for metals. Thus, the conclusion is absolute in terms of which precious stones and metals have numerous geological and mineralogical, physicochemical, jewellery and industrial, and other differences.

Moreover, in the legal aspect, precious stones and metals also have common and specific feature; hence, their inclusion in the sphere of the specific legislation act may be performed as follows: a) PMs&PSs are the complex object of legislative control of the unifies legal act; b) PMs&PSs are the integrated object of legislative control, common features of which legislative regime are considered by the general part of the law, and specific ones are considered by the special part of the law; and c) PMs&PSs are the differentiated objects of different laws.

The national legislation has a precedent when two different mineral resources have been combined in one law as an object of legislative control (Law of Ukraine "On Oil and Gas" is meant). However, if the Law on PMs&PSs identifies legal foundations and principles of governmental control over PMs&PSs mining, production, use, storage, and transactions, then oil and gas law determines the basic

legislative, economic, and organizational foundations of the activities by the oil-and-gas industry of Ukraine controlling the relationships connected with the features of oil-and-gas subsoil use, production, transportation, storage, and application of oil, gas, and their processing products to provide energy security of Ukraine; develop competitive relations in the oil-and-gas branch; and protect the rights of each subject of the relationships arising in the context of geological prospecting of oil-and-gas subsoil, development of oil-and-gas fields, oil and gas processing, storage of oil, gas, and their processing products, transportation, and marketing as well as oil and gas consumers, and the industry employees.

Common feature of the laws is the following: they develop their provisions at a bylaw level which Rs involve and concretize the specifics of corresponding mineral resources (i.e. oil-and-gas legislation; legislation on precious metals; and gemological legislation).

4. Gemological component of the Law on PMs&PSs.

Analysis of the contents of the Law on PMs&PSs has made it possible to separate the specific types of legal relationships being common and specific for both types of the objects. In this context, the relationships, concerning precious metals only, will be ignored proceeding from the paper purpose.

1). Common PMs&PSs relationships are as follows:

1.1) accounting and reporting of business entities engaged in PMs&PSs transactions; jewellery items produced using them; and materials containing PMs&PSs; 1.2) the State PMs&PSs Fund of Ukraine, and Historical PMs&PSs Fund of Ukraine; 1.3) the State Reserve of the explored PMs&PSs deposits; 1.4) the State Storage of PMs&PSs of Ukraine; 1.5) PMs&PSs payment; 1.6) ownership of PMs&PSs; 1.7) use of PMs&PSs and their secondary resources; 1.8) import procedure and export procedure for PMs&PSs and jewellery items produced using them; 1.9) Marketing of PMs&PSs and jewellery items produced using them; 1.10) the state quality of PMs&PSs and jewellery items produced using them; 1.11) functions of the central executive administration (further, CEA) providing formation of the state financial policy in the field of the governmental control over PMs&PSs mining, production, use, and storage, and implementing the state policy in the field of the governmental assay control; 1.12) the state bodies controlling PMs&PSs transactions as well as their powers; 1.13) purpose and control types of PMs&PSs transactions; 1.14) rights of officials of the state agencies controlling PMs&PSs transactions; 1.15) protection of business entities engaged in PMs&PSs mining, production, processing, and use; and 1.16) liability for violation of the procedure of mining, production, use and marketing of PMs&PSs as well as jewellery items and household goods manufactured using them.

2). Gemological relationships: 2.1) SGCU; and 2.2) the state control over the diamond transactions in accordance with the Certification scheme of Kimberley process.

Hence, the structuring of the Law on PMs&PSs supports absolute PMs&PSs dominating as the complex object of its legal regulation. It should be noted the number of relationships in the field of precious metal, regulated by the Law, are much more to compare with the number of gemological relationships. Such a situation transfers forcibly the regulation of the latter to the bylaw level.

5. The legal status of the State Gemological Centre of Ukraine.

In the context of Ukrainian legislation, the SGCU carries out independent expertise while controlling quality of raw materials and items manufactured using precious metals, PSOF, and SPSs as well as items containing them; expertise of precious stones, PSOF, and SPSs attached to the State PMs&PSs Fund of Ukraine; provides

methodological assistance to geological prospecting, mining, and processing enterprises to improve their activities; analyzes raw material from the viewpoint of gemology; and performs other operations, connected with the independence expertise of precious stones, PSOF, and SPSs, following orders by the authorized bodies.

The SGCU belongs to a management domain of the central executive body authorized by the CMU (The Ministry of Finance at present) established to use adequately the raw base of precious (semiprecious) stones (*Про створення Державного гемологічного центру України, 1993*) acting on the basis of the Provision confirmed by it (*Про внесення змін до Положення, 2012*). For the first time, the provision on the SGCU was confirmed by The Ministry of Finance Order of 07.09.1995. The Order was modified (a new edition) in 2004 and 2012. Currently, it involves following components concerning the SGCU: 1) General provisions; 2) The basic missions and functions; 3) Types of activities; 4) Rights and responsibilities; 5) Central funding sources; 6) Management; 7) Structure; 8) Scientific and Technical Council; 9) and Liquidation and reorganization.

Legislation activities of the SGCU, determined by the provision, includes its coordinated with The Ministry of Finance development of Rs concerning the production, use, and marketing of precious stones, PSOF, SPSs, and decorative stones as well as their artificial substitutes. Moreover, the SGCU basic missions also include generalization of practices to apply legislation in terms of the problems belonging to its competence; development of the recommendations to improve it; drafting legislative acts, acts of the President of Ukraine, acts of the CMU; and their submitting to consideration by The Ministry of Finance subject to the normal due process.

Nevertheless, one of the key activities by the SGCU is scientific and technical expertise inclusive of diagnostics and evaluation of forecasting cost of precious stones, PSOF, SPSs, and decorative stones in the form of raw materials and final goods. The list also involves cult objects and artefacts being of cultural (scientific, historical, memorial etc.) value as well as artificial substitutes of the stones, samples of minerals, mineral products, and rocks on the results of which the SGCU issues relevant written conclusions according to the forms approved by the Ministry of Finance.

It should be noted that certain aspects of the gemological expertise right needs special attention. First, it is availability of two different types of gemological expertise: 1) scientific expertise, and scientific and technical one carried out according to the Law of Ukraine "On the Scientific and Scientific and Technical Expertise" of the 10th of February 1995 # 51/95-BP; and 2) legal expertise carried out in accordance with the Law of Ukraine "On the Legal Expertise" of 25th of February 1994 # 4038-XII. Second, scientific and scientific and technical gemological expertise is carried out by gemology experts, and appraiser experts; legal expertise is carried out by surveyors. Third, findings of gemological expertise cannot be considered as an act of the legal expertise since the person acquires rights and incurs obligations only after receiving the decision on commissioning of expert studies.

If one and the same case involves opposite conclusions of both specialist (i.e. gemology expert) and surveyor, then judgment is made according to the rules of a procedural law; in this context, conclusion by surveyor is more preferable (*Про деякі питання практики призначення судової експертизи, 2012*).

The specific gemological activities by the SGCU involve provision of services concerning sorting of precious stones, their classification, identification, storage, and repacking as

well as the development of the state standards and technical conditions in the field of transactions of precious stones.

6. Legal regime of the Certification scheme of Kimberley process. According to Interlaken Declaration on the Certification Scheme of rough diamonds in terms of Kimberley process (further, KP) and Resolution # 1459 (2003) of the UN Security Council, since the 1st of January 2003, Ukraine has joined officially the Certification scheme of KP, incurred liabilities to trade in rough diamonds only with KP participant countries. In accordance with the Scheme and Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine (*Про ввезення на митну територію України 2003*), import of the rough diamonds in the customs territory of Ukraine, their export from it and customs clearance is permitted if only KP certificate is available. The Order authorizes the SGCU to provide execution of the certificates, and determines a list of regional custom houses as well as customs terminals performing customs clearance of the rough diamonds after all the required expertise procedures were carried out and supporting documents were completed by the authorized officer from the SGCU.

Order by the Ministry of Finance (*Про затвердження Порядку оформлення супровідних документів, 2003*) established a form of KP certificate for diamonds, being exported from the territory of Ukraine, the procedure to compile supporting documents, and introduction of the diamonds in accordance with the Certification KP Scheme.

If the order concerning the fact that Ukrainian balance subsoil reserves of minerals (separately for diamonds) is the highly classified information (*Про затвердження Зводу відомостей, 2005*) then the tendency can be noticed to form Rs group as well as the certain rules of the law regulating relationships as for the diamond sphere. Recently, the similar specifics but on a much larger scale, have been available in amber legislation (*Кірін, 2020*). Moreover, use of the national standard in Ukraine, regulating the general technical conditions as for the rough amber since 01.07.202, will favour optimum orderliness degree in the field of the rough amber mining, production, use, and storage (*ДСТУ 8847:2019 Бурштин-сировина, 2019*). The matter is that the previous nonavailability of the state amber standards made difficulties for legal expertise as for the determination of the raw material quality, price policy, and certification. Hence, the experts had to use foreign classifications of raw material quality, pricelists, and reference collections, often differing in grade characteristics, rather than the national ones (*Баранов та Кірін, 2020*).

7. Development prospects of subject-matter of gemological law. Thus, it is possible to mention the two tendencies for the development of gemological right sources: 1) the tendency oriented to the control of active types of the subjects (i.e. mining precious stones, their production, use, storage, and control of transactions); and 2) the tendency oriented to the regulation of material view of the subjects (i.e. certain types of natural and artificial (synthetic) minerals in the raw materials; unprocessed and processed form (i.e. in items).

In this context, operations with precious stones, PSOF, and SPSs, involve the actions connected with: a) accrual of ownership and its termination as well as other rights for precious stones, PSOF, and SPSs; b) delivery of precious stones, PSOF, and SPSs to storage areas of funds and reserves as well as their storage and issue the goods in due order; c) changes in the composition or physical state of precious stones, PSOF, and SPSs in terms of any substances and materials during their mining, production, and use; d) import of precious stones, PSOF, SPSs, items and materials, containing them, to the territory of Ukraine, and their export from it; and e) storage of precious stones, and their exhibiting.

Hence, differentiation of certain types of gemological relationships into gemological as such and adjacent to gemological is quite obvious. The latter can be divided into the following: 1) gemological and subsoil relationships: 1.1) gemological and geological; 1.2) gemological and mining; 2) gemological and business; 3) gemological and civil; 4) gemological and administrative; 5) gemological and financial; 6) gemological and fiscal; 7) gemological and customs; 8) gemological and investment; 9) gemological and expert; and 10) gemological and educational.

It goes without saying that such a classification involves synthesis of active (i.e. gemologically important operations) and material (i.e. gemological objects and resources) types of the subject relationships not always corresponding to the consistency of the law sources. That is why it is proposed to select the material objects as the initial subject of gemological legal relations. First, the latter are characterized by temporary dynamics of physical, monetary, and legal status; second, they are adequate objects of certain and consecutive types of gemological activities. Hence, the type of gemological resource acting as subsoil resource; mineral resource; production resource; material resource; and secondary resource identifies a type of gemological activities – acquisition of the rights to use, mine, and operate.

Moreover, the type of gemological resource also identifies a type of proper homogenous specific group of gemological relations. Despite the abovementioned, the neighbouring relationship types are objectively necessary to implement gemological activities; they are not gemological in terms of their legislative nature. The relationships just create organizational, subsoil, civil, business, customs, fiscal, financial and other preconditions for functioning of gemological relationships as a subject-matter of gemological law.

Analysis of a bylaw Rs array of gemological legislation has made it possible to complement and concretize the types of gemological relations being currently subjects of their regulation. Sources of gemological right were systemized in terms of the following components:

1) *the gemological and resource right is to:* accumulate stocks of precious stones; mine gemstones, process them, and use; examine status of decorative stones, their prospects, and mining and processing development tendencies; use the Classification of stocks and resources of minerals of the State subsoil fund in the context of deposits of precious stones;

2) *the gemological transaction right is to:* organize collecting and processing of precious stone waste; provide rational use of precious stones; account, establish, and maintain a register of business entities engaged in precious stone transactions; publish wholesale prices for diamonds, precious stones, SPSs, and decorative stones; market precious stones, PDOF, and SPSs from the State PMs&PSs Fund; command currency values (exclusive of capital issues), precious metals and precious stones, PDOF, and SPSs becoming the property of the state; export from Ukraine the state awards made of precious metals and/or precious stones; perform commission trade in jewellery made of precious metals, precious stones, PSOF, and SPSs; trade in jewellery and other household goods made of gold, silver, platinum, and platinum-group metals, precious stones and pearls as well as scrap and certain arrested parts of such products; report on the amount of precious metals and diamonds containing in jewellery and household goods as well as in jewellery and household goods which became unusable or lost their operational value (the goods purchased from general public and those ones not taken out of pledge are meant); sell by auction items made of PMs&PSs, PSOF, and SPSs from the State PMs&PSs Fund; report on the precious metals and precious stones contained in museum pieces; and inform citizens

about the export (transfer) precious stones and items made of them as well as cultural values to alienate them outside of the customs territory of Ukraine;

3) *the right of gemological expertise is to*: classify generally and evaluate natural stones; accredit and train gemological experts; carry out gemological expertise of decorative stones, their artificial equivalents, rocks, and mineral substances; formulate tariffs on the activities connected with carrying out the expertise and training of gemological experts; certificate precious stones, PSOF, and SPSs; certificate lots of goods of natural stones; evaluate precious metals, precious stones, PSOF, SPSs, and decorative stones during their privatization (corporatisation); and determine both appraisal value and insurance value of artefacts of the Museum Fund of Ukraine.

Hence, the analysis of scientific papers, statutes on the PMs&PSs as well as gemological and neighbouring legislative branches, explaining formation problems and development prospects of the national gemological right and legislation, has made it possible to formulate and substantiate following **conclusions**.

1. It is proposed to consider gemological right as a set of legal norms controlling public relations in the field of organization and implementation of gemological activities connected with acquisition of the right to use, mine, possess, apply, and act with gemological objects in the form of subsoil, mineral, industrial, and secondary resources as well as control their transactions and expertise.

2. Currently, external belonging of the gemological right sources is ambiguous since they get to a system of currency law, being a component of financial and credit or budget and financial legislation, as well as to a system of industrial legislation while having in their contents provisions of mining, economy, civil, administrative, fiscal, customs, and expert legislations.

3. Consideration of precious stones and precious metals, having geological and mineralogical, physicochemical, jewellery and industrial, and legal differences, as the complex object in the context of the domain of the unified legislative act, intended to be a basis of new market relations in the field of jewellery transactions, could be regarded as the justified one only at the early stage of legislative base formation for the field. However, the fact becomes more than obvious that the current law turns out to be obsolete. The matter is that it has transferred its subject of regulation to a bylaw level; its mechanisms to increase the national funds are contradictory, incomplete, and almost inapplicable; a form of restrictions in the field of jewellery transactions as well as their reasonableness are debatable; and the relations concerning quality of the items and their safety, consumer protection, provision of the balance between public interests and private interests, equality of business entities as well as the branch competitiveness need European integration renewal in the context of legal control.

4. It is proposed to develop the structure of gemological law system relying upon the principles of differentiation of importance of gemological activities in terms of generic formations (i.e. the gemological and resource right; the right of gemological transactions; and the right of gemological expertise) and in terms of the types of gemological objects and resources (the right concerning diamonds, amber; the right concerning decorative, collectable, artificial stones etc.).

5. The scheduled adoption of a new version of the Code of Ukraine on subsoil intended to identify legal, organizational, and economic principles of the subsoil use to meet social needs in mineral raw materials; development of transparent and non-discriminatory procedure as for the acquisition of licenses to develop and mine minerals (*Про План законопроектної роботи Верховної Ради України,*

2020) as well as actualization of the priority exploration activities under current conditions of geological branch financing give grounds for further reforming of gemological legislation, its ordering, and reducing to certain internally agreed system, removing shortcomings, repetitions, and outdated standards and, finally, unity formation by means of internal and external processing of their contents, and the development of the Gemological Code of Ukraine.

Список використаних джерел

- Баранов, П.М., Кірін, Р.С. (2020). Особливості судово-геомологічної експертизи перлів і бурштину. *Науковий вісник Дніпропетровського державного університету внутрішніх справ*, 2, 228-235. DOI: 10.31733/2078-3566-2020-2-228-235
- Деякі питання реалізації Закону України "Про народні художні промисли". (2002). Постанова Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 р. № 283. *Офіційний вісник України* від 29.03.2002 р., 11, 112, ст. 516.
- Діхтяренко, К.Ю. (2019). Фінансово-правове регулювання обігу дороговцінних металів в Україні. *Автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.07*. Київ.
- ДСТУ 8847:2019 Бурштин-сировина. (2019). Загальні технічні умови. Про прийняття національних стандартів, прийняття зміни до національного стандарту, скасування міждержавного стандарту: наказ Державного підприємства "Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості" від 17.04.2019 № 95. Отримано 27 жовтня 2020, із http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82574
- Єфремова, К.В. (2009). Особливості правового регулювання господарської діяльності на ринку виробів із дороговцінних металів і дороговцінного каміння. *Автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.04*. Харків.
- Кірін, Р.С. (2020). Законодавство про бурштину: субсидіарність формування. *Актуальні питання реформування правової системи*. Луцьк, 77-79.
- Класифікатор корисних копалин (ККК) ДК 008:2007. (2007). Національний класифікатор України. Прийнято та надано чинності наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики (Держспоживстандарту України) від 12.12.2007 № 357. Отримано 27 жовтня 2020, із <http://consultant.parus.ua/?doc=04T8SEBE6A>
- Маліченко, О.М. (2012). Адміністративно-правове регулювання сфери обігу дороговцінних металів і дороговцінного каміння в Україні. *Автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.07*. Київ.
- Про ввезення на митну територію України та вивезення з митної території України алмазів. (2003). Постанова Кабінету Міністрів України від 12 березня 2003 р. № 307. Отримано 27 жовтня 2020, із <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/307-2003-%D0%BF#Text>
- Про визначення розміру збитків, завданих підприємству, установі, організації розкраданням, знищенням (псуванням), недостачею або втратою дороговцінних металів, дороговцінного каміння та валютних цінностей. (1995). Закон України від 6 червня 1995 р. № 217/95-ВР. Отримано 27 жовтня 2020, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/217/95-%D0%B2%D1%80>
- Про внесення змін до Положення про Державний геологічний центр України. (2004). Наказ Міністерства фінансів України від 19 липня 2004 р. № 465 (у редакції наказу Міністерства фінансів України від 16 липня 2012 р. № 837). Отримано 27 жовтня 2020, із www.gems.org.ua/pol_2012
- Про державне регулювання видобутку, виробництва і використання дороговцінних металів і дороговцінного каміння та контроль за операціями з ними. (1997). Закон України від 18 листопада 1997 р. № 637/97-ВР. Отримано 27 жовтня 2020, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/637/97-%D0%B2%D1%80?find=1&text>
- Про деякі питання практики призначення судової експертизи. (2012). Постанова Вищого господарського суду України від 23.03.2012 № 4. Отримано 27 жовтня 2020, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0004600-12#Text>
- Про забезпечення раціонального використання дороговцінних металів і дороговцінних каменів. (1993). Постанова Верховної Ради України від 2 вересня 1993 р. № 3424-XII. *Відомості Верховної Ради України* від 05.10.1993 р., 40, ст. 386.
- Про загальну класифікацію та оцінку вартості природного каміння. (1994). Постанова Кабінету Міністрів України від 27 липня 1994 р. № 512. Отримано 27 жовтня 2020, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/512-94-%D0%BF>
- Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року. (2011). Закон України від 21 квітня 2011 р. № 3268-VI. Отримано 27 жовтня 2020, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text>
- Про затвердження Зводу відомостей, що становлять державну таємницю. (2005). Наказ Служби безпеки України від 12.08.2005 № 440. Отримано 27 жовтня 2020, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0902-05?find=1&text>
- Про затвердження Класифікатора галузей законодавства України. (2004). Наказ Міністерства юстиції України від 02.06.2004 р. № 43/5. Отримано 27 жовтня 2020, із https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v43_5323-04?find=1&text
- Про затвердження переліків корисних копалин загальнодержавного та місцевого значення. (1994). Постанова Кабінету Міністрів України від 12 грудня 1994 р. № 827 (у редакції постанови Кабінету Міністрів України від 28 грудня 2011 р. № 1370). Отримано 27 жовтня 2020, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-94-%D0%BF#Text>

Про затвердження Положення про Міністерство фінансів України. (2014). Постанова Кабінету Міністрів України від 20 серпня 2014 р. № 375. Отримано 27 жовтня 2020, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/375-2014-%D0%BF?find=1&text>

Про затвердження Порядку оформлення супровідних документів та введення в обіг алмазів відповідно до сертифікаційної схеми Кімберлійського процесу. (2004). Наказ Міністерства фінансів України від 09.04.2003 № 276. Офіційний вісник України від 23.05.2003 р., 18, 257, ст. 878.

Про План законопроектної роботи Верховної Ради України на 2020 рік. (2020). Постанова Верховної Ради України від 16 червня 2020 р. № 689-IX. *Голос України* від 26.06.2020, 105.

Про створення Державного гемологічного центру України. (1993). Постанова Кабінету Міністрів України від 7 вересня 1993 р. № 713. Отримано 27 жовтня 2020, із <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/713-93-%D0%BF#Text>

Про створення запасу дорогоцінних металів і дорогоцінних каменів в Україні. (1991). Постанова Президії Верховної Ради України від 2 грудня 1991 р. № 1886-XII. *Відомості Верховної Ради України* від 18.02.1992 р., 7, ст. 62. (втратила чинність на підставі закону від 18.11.1997 р. № 637/97-ВР).

Романов, В.П. (2017). Адміністративно-правові засади обігу дорогоцінних металів та дорогоцінного каміння в Україні. *Автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.07*. Дніпро.

Семенюк, К.М. (2015). Державне регулювання розвитку ювелірної галузі в Україні. *Автореф. дис. ... канд. наук з держ. упр.: 25.00.02*. Харків.

Тітова, Ю.О. (2012). Нормативні засади обігу дорогоцінних металів і дорогоцінного каміння в Україні. *Часопис Академії адвокатури України*, 17 (4), 101–107.

References

- Baranov, P.M., Klrln, RS. (2020). Osoblivosti sudovo-gemologichnoyi ekspertizy perliv i burshtinu. *Naukoviy visnik Dnipropetrovskogo derzhavnogo universitetu vnutrishnih sprav*, 2, 228-235. [in Ukrainian]. DOI: 10.31733/2078-3566-2020-2-228-235
- Deyaki pitannya realizatsiyi Zakonu Ukrainy "Pro narodni hudozhni promisi". (2002). Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 13 bereznya 2002 r. № 283. *Ofitsiyin visnik Ukrainy* vid 29.03.2002 r., 11, 112, st. 516. [in Ukrainian]
- Dihtyarenko, K.Yu. (2019). Finansovo-pravove reguluvannya obigu dorogotsinnih metaliv v Ukraini. *Extended abstract of Candidate's thesis (Juridical): 12.00.07*. Kyiv. [in Ukrainian]
- DSTU 8847:2019 Burshtin-sirovina. (2019). Zagalni tehnični umovi. Pro priynyattya natsionalnih standartiv, priynyattya zmini do natsionalnogo standartu, skasuvannya mizhderzhavnogo standartu : nakaz Derzhavnogo pidpriemstva "Ukrayinskiy naukovo-doslidniy i navchalniy tsentr problem standartizatsiyi, sertifikatsiyi ta yakosti" vid 17.04.2019 № 95. Retrieved from http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82574 [in Ukrainian]
- Efremova, K.V. (2009). Osoblivosti pravovogo reguluvannya gospodarskoyi diyalnosti na rinku virobiv iz dorogotsinnih metaliv i dorogotsinnogo kaminnya. *Extended abstract of Candidate's thesis (Juridical): 12.00.04*. Harkiv. [in Ukrainian]
- Kirin, R.S. (2020). Zakonodavstvo pro burshtin: subsidarnist formuvannya. *Aktualni pitannya reformuvannya pravovoyi sistemi*. Luts'k, 77-79. [in Ukrainian]
- Klasifikator korisnih kopalyn (KKK) DK 008:2007. (2007). Natsionalniy klasifikator Ukrainy. Priynyato ta nadano chinnosti nakazom Derzhavnogo komitetu Ukrainy z pitan tehnichnogo reguluvannya ta spozhivchoyi politiki (Derzhspozhivstandartu UkraYini) vid 12.12.2007 № 357. Retrieved from <http://consultant.parus.ua/?doc=04T8SEBE6A> [in Ukrainian]
- Malichenko, O.M. (2012). Administrativno-pravove reguluvannya sferi obigu dorogotsinnih metaliv i dorogotsinnogo kaminnya v Ukraini. *Extended abstract of Candidate's thesis (Juridical): 12.00.07*. Kyiv. [in Ukrainian]
- Pro derzhavne reguluvannya vidobutku, virobnitstva i vikoristannya dorogotsinnih metaliv i dorogotsinnogo kaminnya ta kontrol za operatsiyami z nimi. (1997). Zakon Ukrainy vid 18 listopada 1997 r. № 637/97-VR. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/637/97-vr?find=1&text> [in Ukrainian]
- Pro deyaki pitannya praktiki pryznachennya sudovoyi ekspertizy. (2012). Postanova Vischoho gospodarskogo sudu Ukrainy vid 23.03.2012 № 4. from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0004600-12#Text> [in Ukrainian]

Pro Plan zakonoproektnoyi roboti Verhovnoyi Radi Ukrainy na 2020 rik. (2020). Postanova Verhovnoyi Radi Ukrainy vid 16 chervnya 2020 r. № 689-IX. *Golos Ukrainy* vid 26.06.2020, 105. [in Ukrainian]

Pro stvorennya Derzhavnogo gemologichnogo tsentru Ukrainy. (1993). Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 7 veresnya 1993 r. № 713. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/713-93-p#Text> [in Ukrainian]

Pro stvorennya zapasu dorogotsinnih metaliv i dorogotsinnih kameniv v Ukraini. (1991). Postanova Prezidiyi Verhovnoyi Radi Ukrainy vid 2 grudnya 1991 r. № 1886-XII. *Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukrainy* vid 18.02.1992 r., 7, 62. (vtratil chinnist na pidstavi zakonu vid 18.11.1997 r. № 637/97-VR). [in Ukrainian]

Pro viznachennya rozmiru zbitkiv, zavdanih pidpriemstvu, ustanovi, organizatsiyi rozhradannam, znischennam (psuvannam), nedostacheyu abo vtratoyu dorogotsinnih metaliv, dorogotsinnogo kaminnya ta valyutnih tsinnostey. (1995). Zakon Ukrainy vid 6 chervnya 1995 r. № 217/95-VR. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/217/95-vr> [in Ukrainian]

Pro vnesennya zmin do Polozhennya pro Derzhavniy gemologichniy tsentr Ukrainy. (2004). Nakaz Ministerstva finansiv Ukrainy vid 19 lipnya 2004 r. № 465 (u redaktsiyi nakazu Ministerstva finansiv Ukrainy vid 16 lipnya 2012 r. № 837). Retrieved from www.gems.org.ua > pol_2012 [in Ukrainian]

Pro vvezennya na mitnu teritoriyu Ukrainy ta vivezennya z mitnoyi teritoriyi Ukrainy almaziv. (2003). Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 12 bereznya 2003 r. № 307. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/307-2003-p#Text> [in Ukrainian]

Pro zabezpechennya ratsionalnogo vikoristannya dorogotsinnih metaliv i dorogotsinnih kameniv. (1993). Postanova Verhovnoyi Radi Ukrainy vid 2 veresnya 1993 r. № 3424-XII. *Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukrainy* vid 05.10.1993 r., 40, 386. [in Ukrainian]

Pro zagalnu klasifikatsiyu ta otsinku vartosti prirodnogo kaminnya. (1994). Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27 lipnya 1994 r. № 512. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/512-94-p> [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennya Klasifikatora galuzey zakonodavstva Ukrainy. (2004). Nakaz Ministerstva yustitsiyi Ukrainy vid 02.06.2004 r. № 43/5. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v43_5323-04?find=1&text [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennya perelikiv korisnih kopalyn zagalnoderzhavnogo ta mistsevoogo znachennya. (1994). postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 12 grudnya 1994 r. № 827 (u redaktsiyi postanovi Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 28 grudnya 2011 r. № 1370). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-94-p#Text> [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennya Polozhennya pro Ministerstvo finansiv Ukrainy. (2014). Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 20 serpnia 2014 r. № 375. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/375-2014-p?find=1&text> [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennya Poryadku оформлення супровідних документів та введення в обіг алмазів відповідно до сертифікаційної схеми Кімберлійського процесу. (2003). Наказ Міністерства фінансів України від 09.04.2003 № 276. *Ofitsiyin visnik Ukrainy* vid 23.05.2003 r., 18, 257, st. 878. [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennya Zagalnoderzhavnogo programi rozvitku mineralno-sirovinnoyi bazi Ukrainy na period do 2030 roku. (2011). Zakon Ukrainy vid 21 kvitnya 2011 r. № 3268-VI. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text> [in Ukrainian]

Pro zatverdzhennya Zvodu vidomostey, scho stanovlyat derzhavnu taemnituyu. (2005). Nakaz Sluzhbi bezpeki Ukrainy vid 12.08.2005 № 440. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0902-05?find=1&text> [in Ukrainian]

Romanov, V.P. (2017). Administrativno-pravovi zasadi obigu dorogotsinnih metaliv i dorogotsinnogo kaminnya v Ukraini. *Extended abstract of Candidate's thesis (Juridical): 12.00.07*. Dnipro. [in Ukrainian]

Semenyuk, K.M. (2015). Derzhavne reguluvannya rozvitku yuvelirnoyi galuzi v Ukraini. *Extended abstract of Candidate's thesis: 25.00.02*. Harkiv. [in Ukrainian]

Titova, Yu.O. (2012). Normativni zasadi obigu dorogotsinnih metaliv i dorogotsinnogo kaminnya v Ukraini. *Chasopis Akademiyi advokaturi Ukrainy*, 17 (4), 101–107. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 14.01.21

Р. Кірін, д-р юрид. наук, доц., провід. наук. співроб.,

E-mail: kirinr@ukr.net;

Державна установа "Інститут економіко-правових досліджень ім. В.К. Макутова НАН України";

П. Баранов, д-р геол. наук, проф., судовий експерт,

E-mail: pn2dsbaranov@gmail.com;

Дніпропетровський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України,

вулиця Будівельний, 1, м. Дніпро, 49033, Україна;

І. Козьяков, д-р юрид. наук, проф.,

E-mail: igorkozjakov@gmail.com

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана

просп. Перемоги, 54/1, 03057, м. Київ, Україна

ГЕМОЛОГІЧНЕ ПРАВО УКРАЇНИ: ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Проаналізовано наукові та законодавчі положення, пов'язані з особливостями правового регулювання відносин у сфері гемологічної діяльності належність, яка нині є неоднозначною, оскільки вони потрапляють і до системи валютного (складової фінансово-кредитного або бюджетно-фінансового законодавства), і до системи промислового законодавства, маючи при цьому у змісті приписи гірничого, господарського, цивільного, адміністративного, податкового, митного та експертного законодавства. Запропоновано

розглядати гемологічне право як сукупність правових норм, що регулюють суспільні відносини у сфері організації та здійснення гемологічної діяльності, пов'язаної із набуттям права користування, видобування, власності, використання та операціями з гемологічними об'єктами у вигляді надрових, мінеральних, виробничих і вторинних ресурсів, контролем за їх обігом та експертизою.

Наголошено, що включення дорогоцінного каміння та металів з наявними геолого-мінералогічними, фізико-хімічними, ювелірно-промисловими та правовими відмінностями, як комплексного об'єкта у сферу дії єдиного законодавчого акту, можна було розглядати виправданим лише на початковій стадії формування законодавчої бази в цій сфері. Наведено положення, згідно з якими визнається, що чинний закон застарів, оскільки: 1) його предмет регулювання переведено переважно на підзаконний рівень; 2) передбачені в ньому механізми поповнення державних фондів суперечливі, неповні і на практиці практично не реалізуються; 3) форма обмежень в обігу коштовних об'єктів та їх обґрунтованість є дискусійними; 4) відносини з якості та безпечності виробів, захисту прав споживачів, забезпечення балансу публічних та приватних інтересів, рівності суб'єктів господарювання, конкурентоспроможності галузі потребують євроінтеграційного оновлення у правовому регулюванні.

Автори, вперше у геолого-правовій науці, пропонують сформувати структуру системи гемологічного права на принципах диференціації виду гемологозначущої діяльності для родових утворень (геолого-ресурсне право, право гемологічного обігу, право гемологічної експертизи) та виду гемологічних об'єктів і ресурсів – для безпосередніх угруповань. Перспективи розвитку гемологічного законодавства пов'язуються із зведенням його до певної узгодженої системи, забезпеченням єдності шляхом внутрішнього та зовнішнього вдосконалення змісту та розробки Гемологічного кодексу України.

Ключові слова: гемологічне право, дорогоцінне каміння, обіг дорогоцінного каміння, гемологічні ресурси, гемологічна діяльність.

Р. Кирин, д-р юрид. наук, доц., вед. науч. сотруд.,
E-mail: kirinr@ukr.net;

Государственное учреждение "Институт экономико-правовых исследований им. В.К. Мамутова НАН Украины";

П. Баранов, д-р геол. наук, проф., судебный эксперт,

E-mail: pn2dsbaranov@gmail.com;

Днепропетровский научно-исследовательский экспертно-криминалистический центр МВД Украины,

тупик Строительный, 1, г. Днипро, 49033, Украина;

И. Козьяков, д-р юрид. наук, проф.,

E-mail: igorkoziakov@gmail.com

Киевский национальный экономический университет имени Вадима Гетьмана

просп. Победы, 54/1, г. Киев, 03057, Украина

ГЕМОЛОГИЧЕСКОЕ ПРАВО УКРАИНЫ: ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Анализируются научные и законодательные положения, связанные с особенностями правового регулирования отношений в сфере геммологической деятельности и геммологических объектов. Исследуются современное состояние источников геммологического права и их внешняя принадлежность, которая сейчас является неоднозначной, поскольку они попадают и в систему валютного (составляющей финансово-кредитного или бюджетно-финансового законодательства), и в систему промышленного законодательства, имея при этом в содержании предписания горного, хозяйственного, гражданского, административного, налогового, таможенного и экспертного законодательства. Предлагается рассматривать геммологическое право как совокупность правовых норм, регулирующих общественные отношения в сфере организации и осуществления геммологической деятельности, связанной с приобретением права пользования, добычи, собственности, использования и операциями с геммологическими объектами в виде недровых, минеральных, производственных и вторичных ресурсов, контролем за их оборотом и экспертизой.

Отмечено, что включение драгоценных камней и металлов с имеющимися геолого-минералогическими, физико-химическими, ювелірно-промышленными и правовыми различиями, в качестве комплексного объекта в сферу действия единого законодательного акта, можно было рассматривать оправданным лишь на начальной стадии формирования законодательной базы в этой сфере. Приведены положения, согласно которым признается, что действующий закон устарел, поскольку: 1) его предмет регулирования переведен преимущественно на подзаконный уровень; 2) предусмотренные в нем механизмы пополнения государственных фондов противоречивы, неполны и на практике практически не реализуются; 3) форма ограничений в обращении ценных объектов и их обоснованность являются дискуссионными; 4) отношения по качеству и безопасности изделий, защиты прав потребителей, обеспечения баланса публичных и частных интересов, равенства субъектов хозяйствования, конкурентоспособности отрасли нуждаются в евроинтеграционном обновлении правового регулирования.

Авторы, впервые в геолого-правовой науке, предлагают сформировать структуру системы геммологического права на принципах дифференциации вида геммологической деятельности для родовых образований (геммолого-ресурсное право, право геммологического обращения, право геммологической экспертизы) и вида геммологических объектов и ресурсов – для непосредственных составляющих. Перспективы развития геммологического законодательства связываются с его сведением в определенную согласованную систему, обеспечением единства путем внутреннего и внешнего усовершенствования содержания и разработки Геммологического кодекса Украины.

Ключевые слова: геммологическое право, драгоценные камни, оборот драгоценных камней, геммологическая деятельность.

UDC 550.424.4

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.02>

A. Splodytel, PhD (Geogr.),
E-mail: asplodytel@gmail.com;
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy
and Ore Formation of the NAS of Ukraine,
34 Acad. Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ESTIMATION OF THE SPREADING OF TECHNOGENIC ELEMENTS IN THE TERRITORY OF KIVERTSIV NATIONAL NATURAL PARK "TSUMANSKA PUSHCHA"

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

Analysis of heavy metals content in the soils of the territory showed its heterogeneous distribution and dependence on available sources of technogenic impact. Geochemical accumulation coefficients were calculated and analyzed. The highest concentrations of manganese and chromium are in soils developed on forest deposits. The highest concentrations of nickel and copper are in soils developed on water-glacial deposits. Most of the studied heavy metals exceed the regional geochemical background. In terms of gross content in soils, trace elements form the following geochemical series: Zn > Cu > Pb > Ni > Mn > Cr. Accumulation of lead in forest deposits up to 2-3 MPC was defined.

Most heavy metals in the soil are nonuniformly distributed. High values of the variation coefficient (V) – more than 34 % – are typical for inhomogeneous set of data on the concentrations of all investigated heavy metals. The highest index of variation was defined for lead concentration and equal to 170%, the lowest values were obtained for chromium content and equal to 34 % and zinc – 36 %. In the investigated soils there are two types of micronutrient distribution: elements accumulation in organic horizons with concentration decrease in the lower part of the profile and distribution by sedentary – illuvial type. The first type is characterized by increasing distribution of the following elements Zn, Pb; the second one is characterized Co, Ni, Cu, Mn.

The ecological and geochemical assessment of technogenic elements distribution of the NNP Tsumanska Pushcha territory is made on the basis of the comparison of technogenic geochemical specialization of different environments (water, soils, etc.). For assessing the role of landscape components in the general geochemical anomaly of the territory, it is proposed to create total ecological and geochemical estimations. It represents the total values of pollutant concentration coefficients in individual components.

Further researchers should focus on the analysis of macronutrients and genetic types of soils; determination of the reference content of elements in geochemical landscapes for defining intensity migration and characteristics of elements distribution; conducting biogeochemical zoning.

Keywords: gross content, technogenic elements, accumulation coefficients.

Introduction. The study of the regularities of mobilization and migration of heavy metals in soils of natural ecosystems is one of the urgent scientific problems. At the moment, the ecologic and geochemical research in the conditions of anthropogenesis is generally based on studying gross elements content distribution. The research problem of forms of toxic elements locations in soils and bottom sediments stays insufficiently investigated. This refers to nature preserve territories of Polissia, where geoeological research of such a kind practically has not been carried out. Meanwhile, in the conditions of anthropogenesis, many chemical elements qualitatively change natural geochemical forms of migration into more movable, easily dissolving, and accessible for plants. These data are necessary to conduct ecological and geochemical monitoring, ecological mapping, etc.

The objective of the article is to discover the specificity of chemical elements distribution and accumulation in soil formation rocks and soils on the territory of Kivertsiv National Nature Park "Tsumanska Pushcha".

The primary study tasks:

1. To examine the specificity of general chemical elements distribution in soil formation rocks and soils;
2. To study forms of microelements location in current bottom sediments in the rivers of Kivertsiv National Nature Park "Tsumanska Pushcha";
3. To research specificity of vertical accumulation of heavy metals according to genetic horizons of soils which are most typical for National Nature Park;
4. To conduct an analysis of forms of heavy metals location in soils on the territory and identify their contamination sources.

Analysis of the recent studies and publications. Studies of the geoeological conditions of soil covering of the territory have been carried out in the scope of complex research of natural conditions of Volyn Polissia. In the framework of aforementioned studies, Kivertsivskyi National Nature Park "Tsumanska Pushcha" has been created. One of the first complex research on Volyn landscapes is P.A. Tutkovskiy's works (1913, 1924). In the works of V.S. Havryliuk (1955), P.V. Klymovych (1961), K.I. Herenchuk (1966), regularities of

landscape and geochemical composition of Volyn Polissia are discussed, and the results of studies on soils change because of water melioration of overmoistened Polissia lands are presented. Anthropogenic transformation of West Polissia landscape was studied by I.B. Koinova (1999), N.A. Tarasiuk and F.P. Tarasiuk (2005); analysis of the ecological and economic organization of Volyn Region landscape in terms of their functional purpose was conducted by O.V. Mishchenko (2016).

In 60-70's, the studies of elements movable forms distribution in various regions across Ukraine were conducted by P.A. Vlasjuk, N.K. Krupskiy, A.M. Aleksandrova, R.N. Benderskiy, A.M. Bilan, Yu.M. Labii. In 80-90's, the studies of forms of heavy metals location in Ukrainian soils are carried out by scientists under the leadership of E.Ya. Zhovynskiy, A.I. Samchuk, H.M. Belonenko, V.I. Pochtarenko, N.M. Horodnii and others.

The specific features of accumulation and migration of gross and movable forms of microelements in soils are described in studies of international scholars (Bascomb, Berti, Bloom, Filgueiras, Hlavay, Kersten, McLaren, Mikutta, Mitchell, Papp, Rauret, Salomons, Sedberry, Shuman, Tessier, Ure, etc.).

Though, studies of specificities of distribution and accumulation of chemical elements in soil formation rocks and soils on the territory of Kivertsiv National Nature Park "Tsumanska Pushcha" as an independent object of studies, have not been carried out before.

Materials and methods of the research. We used the factual material of field landscape science and geochemical surveys carried out in summer-autumn period of 2018-2019. During the field researches about 130 rock samples and more than 1200 soil samples were taken. Total number of biogeochemical samples of the main plants of the NNP is more than 640 samples.

Sampling of soil samples was carried out by "envelope" method from plots of 10×10 m. The following list of works was carried out on each sampling plot:

- geographical coordinates by GPS were determined;
- the category of nature use was defined;

- description of vegetative cover is formed;
- soil sections are laid;
- a morphological description of soils is performed;
- sampling was carried out for genetic bedding rocks of the soil profile and impure soil samples for chemical analysis in laboratory conditions.

HM content was determined by mass spectral (ICP-MS) and atomic emission methods (ICP-AES) with inductively coupled plasma on Elan-6100 devices and ICP-MS analyzer ELEMENT-2, (made in Germany) at the M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation NASU and Institute of Geology of Polish Academy of Sciences.

As a result of carried out work, a series of poly element maps at the scale of 1:50,000 was concluded, which served as the basis for studying the spreading of heavy metals in soil and vegetation cover also establishing the effect of natural and man-made migration factors on them. To compile thematic maps of the spatial spreading of heavy metals at the soil in terms of Zc total pollution, obtained data were interpolated using the ArcGIS ArcMap software package by using the Kriging method.

Chemical elements spreading in soil-forming rocks.

Water-glacial and alluvial sediments dominate among the soil-forming rocks of the NNP territory. Of greatest interest are data on the chemical composition of glacial sands. Average content is (in %): SiO_2 – 72.83, Al_2O_3 – 4.10, Fe_2O_3 – 0.82, FeO – 0.18, TiO_2 – 0.18, CaO – 1.78, MgO – 0.68, K_2O – 1.67, Na_2O – 0.64.

Modern alluvial deposits are represented by channel oblique and horizontally stratified sands in some places with gravel admixtures of underlying bedrock with an average thickness of 3-5 m (watercourse alluvium), as well as sands and loams, with clear horizontal layering, often peated (channel margin sand). Capacity of the channel margin sand reaches 5-6 m and more. Sandy loam and uliginous aggradations are most common in the valley of the Putylivka and Kormyn rivers. Among the aggradations of the channel margin sands, in addition to fine sands, there are lenses of coarse-grained sand, gravel, and pebbles.

According to the results of our research, the alluvial aggradations of Rudka river floodplain are characterized by predominance of particles of 0.5–0.05 mm, which is 98 %. The granulometric spectrum of floodplain sediments is characterized by presence of particles >1.0 mm on average 1.55%; 1.0–0.2 mm – 41.34 %; 0.10–0.01 mm – 47.69% and <0.01 mm – 6.21 %. The median particle size ranges from 0.008–0.34 mm and the value of the sorting coefficient is 1.46–2.87. According to results of the research, about 35–40 minerals were found in the floodplain of alluvium. Composition of the main of them is fractions of 0.25–0.05 and 0.05–0.01 mm on average, respectively (%): quartz 84.6 and 66.3, feldspar 11.9 and 12.5, biotite in the first fraction 16.8; among heavy minerals are ilmenite with magnetite 19.8 and 20.2, amphibole 33.0 and 44.5, garnets 15.3 and 8.4, tourmaline 2.6 and 1.4, zircon 1.4 and 2.4. There are also limonite, leucocene, hypersthene, chlorite, rutile, apatite, biotite, and other minerals. Alluvium of the floodplain-terrace plain has similar data on granulometric and mineralogical composition.

Sands of the modern river alluvium of the Rudka river contain (%): SiO_2 – 94.03, Fe_2O_3 – 0.04, FeO – 0.41, Al_2O_3 – 2.95, CaO – 0.89, MgO – 0.62, CO_3 – 0.09, Na_2O – 0.72, K_2O – 1.43, CO_2 – 0.51, sludge – SiO_2 – 61.13, Fe_2O_3 – 5.67, FeO – 2.97, Al_2O_3 – 5.12, TiO_2 – 0.31, CaO – 0.52, MgO – 0.35, SO_3 – 3.18, Na_2O – 0.29, K_2O – 0.93. Floodplain sands of the river Kormyn contain: (%): SiO_2 – 92.64–93.15, Al_2O_3 – 1.93–2.45, Fe_2O_3 – 0.22–0.36, TiO_2 – 0.04–0.27, Na_2O – 0.45–0.87, K_2O – 1.32–1.87, CaO – 0.11–0.56, MgO – 0.12–0.23, P_2O_5 – 0.24–0.29.

The concentrations of microelements fluctuate depending on the lithological type of aggradations, their facies and localization in the river basin. Content of nickel, cobalt, lead, chromium, vanadium, manganese and copper, although characterized by significant deviations from the average concentrations, however, does not exceed their calculated anomalous values. At the same time, in relation to the composition of microelements in modern channel sands in general, the alluvium of the river Kormyn is characterized by high concentrations of SiO_2 , Al_2O_3 , and Fe_2O_3 . This is due to the lithological and geochemical characteristics of the rocks of the territory, as well as to the significant swampiness of the landscapes of the territory.

The alluvial deposits of the NNP, in comparison with the average values for the alluvial aggradations of protected areas as a whole, have increased concentrations of titanium, chromium, nickel, copper and manganese.

In the alluvial aggradations of the valleys of the rivers Rudka, Kormyn contains ($n \times 10^{-3}$ %) Be – 0.1–0.5, Mn – 2–68, Pb – 0.6–1.3, Ga – 0.5–8, 2, V – 1.4–6.8, Ni – 0.6–7.1, Ba – 1.5–12 and Cr – 1.8–11.5.

The content of amorphous oxides of iron, aluminum, manganese and silicon in modern river deposits of the park as a whole is characterized by close values of concentrations characteristic of sands and silt of the territory of Ukrainian Polissya. The highest concentrations of amorphous forms of chemical elements are characteristic of mules, the lowest – for channel sands.

In order to determine the migration forms of chemical elements in the river network of NNP, their accumulation, as well as reserves for assimilation by plants, the forms of finding of microelements in river bottom sediments, represented by fine-grained sands containing increased amounts of silty biogenic substances, were studied. Forms of migration are determined by the method of step-by-step extracts, by method of H.A. Shymko, V.A. Kuznyetsova (Zhovynskyi et al., 2005, 2012; Adriano, 1986; Stoops et al., 2010).

As we can see from table 1, cobalt, vanadium, titanium are not found in extracts of water-soluble components and easily exchangeable ions, indicating their weak migration in easily mobile forms. Copper in the form of water-soluble components migrates to a small extent, but locally reaches 25.5 % of the gross content, and in the form of easily exchangeable ions from 3.6 to 21.5 %. Manganese as the most mobile trace element in wetlands in the first form is 0.06–0.15 % and in the second – from 1.72 to 12.28 % of the gross content.

Elements associated with carbonates are extracted in different ways. Cobalt is detected locally in the amount of 51–57 % of the gross content. Copper in the extract was not found. Vanadium is contained in the range of 1.62–5.72 %, and manganese – 7.32–68.15 % of gross, indicating their reserves of active migration in conditions of changes in pH, temperature and carbon dioxide, causing the dissolution of carbonates or their falling out of solution. Titanium is found in small quantities – from small traces to 0.06 %.

Characteristic connections of the studied trace elements with organic matter are noticeable. Some trace elements are constantly present in the composition of amorphous hydroxides, excluding cobalt and vanadium, which were not found here, manganese as satellite of iron – in the conditions of the reserved zone of the park, this form migrates only in quantities of 0.76–2.81 % of the total content.

Titanium is concentrated in hard-destroying minerals, accounting for 78.62–93.67 % of the gross content in insoluble sludge and only 4.82–12.51 % in easily-destroying silicates, which indicates a relatively weak migration with river waters. High concentrations in the insoluble sediment are also typical for manganese – 25.67–84.58 %, vanadium – 14.11–61.56, copper – 8.12–67.72 %. The bulk of cobalt in some places belongs to easily destructive silicates.

Table 1

Forms of occurrence of trace elements in modern bottom sediments of rivers NNP

№ points	Location	Extracts, mg/kg						gross content
		water soluble components	easily exchangeable ions	carbonates	associated with organic matter	easily destructive silicates	hard destructive compounds	
		Copper						
16-19	Floodplain, river Rudka, Q. 4 APC	2.06	0.61	–	4.87	0.8	1.6	11.5
19-19	Quarter – 6 near the lake, quarry	–	2.76	–	7.32	0.73	0.89	12.0
22-19	Floodplain of the river Rudka, 50 m from the riverbed	2.03	0.67	–	6.34	–	2.1	8.7
30-19	Floodplain of the river Rudka, collecting channel	–	2.45	–	7.12	0.72	0.91	13
45-19	Starytsia and river Kormyn	–	1.07	–	3.95	2.1	11.5	18
52-19	Floodplain of the river Kormin, marginal part	–	0.54	–	4.11	0.41	1.8	4.6
		Manganese						
16-19	Floodplain, river Rudka, Q. 4 APC	0.16	12.32	198.8	21.17	10.34	123.7	357
19-19	Quarter – 6 near the lake, quarry	0.02	4.78	62.4	23.5	3.1	65.4	132.5
22-19	Floodplain of the river Rudka, 50 m from the riverbed	0.01	3.05	15.13	5.11	3.45	72.58	101.5
30-19	Floodplain of the river Rudka, collecting channel	0.13	1.86	9.10	3.16	4.87	79.5	97.8
45-19	Starytsia and river Kormyn	0.11	11.23	223.7	52.12	18.6	134.7	375.7
52-19	Floodplain of the river Kormin, marginal part	0.01	4.7	39.53	18.65	1.7	64.3	126.7
		Titanium						
16-19	Floodplain, river Rudka, Q. 4 APC	–	–	–	0.9	95.8	369.5	1670
19-19	Quarter – 6 near the lake, quarry	–	–	0.07	19.02	39.4	390.8	410.7
22-19	Floodplain of the river Rudka, 50 m from the riverbed			0.19	32.46	53.8	401.6	390.5
30-19	Floodplain of the river Rudka, collecting channel	–	–	–	10.11	41.24	504.2	592.5
45-19	Starytsia and river Kormyn	–	–	–	5.34	62.1	864.2	820
52-19	Floodplain of the river Kormin, marginal part	–	–	–	16.7	91.5	1250	1540
		Cobalt						
16-19	Floodplain, river Rudka, Q. 4 APC	–	–	0.70	0.09	0.39	–	1.1
19-19	Quarter – 6 near the lake, quarry	–	–	–	–	0.28	–	0.3
22-19	Floodplain of the river Rudka, 50 m from the riverbed	–	–	–	0.19	0.16	–	0.38
30-19	Floodplain of the river Rudka, collecting channel	–	–	–	0.22	0.15	–	0.40
45-19	Starytsia and river Kormyn	–	–	0.89	0.42	0.35	14.2	16.5
52-19	Floodplain of the river Kormin, marginal part	–	–	–	–	0.05	–	0.05
		Vanadium						
16-19	Floodplain, river Rudka, Q. 4 APC	–	–	0.65	2.52	2.46	3.77	9.2
19-19	Quarter – 6 near the lake, quarry	–	–	0.54	3.83	2.11	1.78	7.2
22-19	Floodplain of the river Rudka, 50 m from the riverbed	–	–	1.32	15.32	1.42	2.61	19.8
30-19	Floodplain of the river Rudka, collecting channel	–	–	0.27	3.76	0.75	2.89	7.4
45-19	Starytsia and river Kormyn	–	–	0.86	5.67	2.42	10.62	21.15
52-19	Floodplain of the river Kormin, marginal part	–	–	0.31	13.43	1.28	2.59	15.8

Concentrations of copper, vanadium, manganese in this form are insignificant, they generally do not exceed 10 %, with the exception of individual local samples. Thus, according to the study of modern river sediments of the NNP territory, separate foci of natural and technogenic pollution were found, which is evidenced by the increased and abnormal values of the content of the studied trace elements. This indicates an unfavorable geochemical situation within the NNP for the study of natural processes.

Geochemical study of the territory of nature protected site as natural sample area, to a lesser extent disturbed by technogenic changes, is just beginning. Such studies pose the task, first of all, to identify the scale and types of technogenic and geochemical changes and most importantly – the establishment of the geochemical background, spreading and migration of chemical elements, the nature of natural geochemical reactions, the interrelationships of elements in the systems rock – river water – alluvial sediments – soil – plant, characteristics of geochemical conditions of the environment as a natural reference environment of the biofund genepool (Ladonin, 1995, 2002).

General patterns of spreading of the main chemical elements in soil-forming rocks and soils. Significant areas of the territory of the NNP "Tsumanska Pushcha", as noted above, are composed of water-glacial sediments.

They are the main soil-forming rocks. In areas where thin layers of these loose sands and sandy loams are underlain by chalk-marl rocks, the last ones can also be considered as soil-forming, and their influence on the formation of the geochemical background of landscapes is significant. The soil-forming rocks of the southern part of the study area are loess-like loams (Tessier *et al.*, 1979; Vodyanitsky, 2005, 2009; Zayed *et al.*, 2003).

Table 2 shows the average values of the main macroelements in the common soils of the NNP territory. A high content of silica is characteristic of Soddy slightly podzolic sandy soils. The main carrier of silica in the aforementioned soils is quartz. SiO₂ is contained in feldspar, plagioclase, white mica, clay minerals in smaller amount.

The uneven spreading of Al₂O₃ over genetic bedding rocks is affected by the mechanical composition of the soil. The sporadic nature of the Al₂O₃ content is obviously associated with the insignificant migration of aluminum in the form of organo-mineral compounds. Basic alumina carriers in soils are feldspar, white mica and biotite in sandy-silt fractions. Very small percentage of Al₂O₃ is accounted for by minerals of the heavy fraction (amphibole, garnet, disthene, staurolite, etc.) (Bakker *et al.*, 1997; Baron *et al.*, 2006; Bartlett *et al.*, 1979; Lubben *et al.*, 1991).

An uneven spreading of iron oxide with genetic soil bedding rocks was also revealed. The acidic reaction of

most types of soils promotes migration from humus-eluvial bedding rocks and accumulation in iluvial bedding rocks in the form of brown ferruginous accumulations. All studied soil

types are characterized by an increase in content of iron oxide in humus bedding rock, which is due to the presence of organic matter.

Table 2

Average chemical composition (macroelements) of soils in the NNP territory, % on absolutely dry weight

Soil	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Sod-slightly podzolic sandy on water-glacial sands	95.15	0.79	3.35	0.28	0.15	0.39	1.15
Sod-weak (medium) – podzolic sandy on water glacial sands	85.95	1.68	5.97	0.69	0.48	0.70	1.66
Sod-weak (medium) – podzolic sandy on loess-like loams	81.98	2.42	7.68	0.79	0.77	0.89	2.34
Soddy carbonate light loam on loess-like loam	71.43	2.86	9.56	2.52	1.54	0.82	2.11
Alluvial layered sandy loam on alluvial sands	87.78	1.42	3.46	0.51	0.40	0.43	0.89
Low-power degraded peat bog	2.64	1.42	0.78	3.82	0.41	0.08	0.07
Average in soils according to Vynogradov	1.22	0.31	0.51	0.49	0.63	0.75	0.31

Light texture soils are characterized by a relatively uniform spreading of iron with a soil profile. A slight increase in the content with depth is explained by high filtration capacity of these soils and the removal of iron by atmospheric precipitation from the upper soil bedding rocks to greater depth (Dmytruk, 2008).

In soils, iron is a part of some minerals confined to different particle size fractions. Its main mass is concentrated in the clay part, consisting mainly of hydromica. Insignificant iron content is included in the composition of the heavy fraction minerals: magnetite, black mica, amphibole, titanite iron ore, etc. (Glazovskaya, 1990).

Wide fluctuations in the content of calcium oxide are observed in NNP soils (up to 42 %). Increased concentrations are recorded for peatlands and Soddy calcareous light loam soils on loess-like loams and water-glacial sediments. The maximum concentration of CaO is characteristic of the iluvial soil bedding rocks.

Calcium in the studied soils is connected with plagioclases, clay minerals and minerals of heavy fractions (amphibole, tourmaline, pyroxene, etc.). The main part of it is caused by carbonates, particularly in transition soil bedding rocks.

Spreading of *microelements* in genetic bedding rocks of the main soil types of the NNP is determined by a wide variability. In sod slightly podzolic sandy soils accumulation of microelements is observed mainly in the upper humus part of the profile. In the studied sections there are two types of spreading of microelements: the accumulation of elements in organic bedding rocks with a gradual decrease in the concentration in the lower part of the profile and the spreading of the eluvial-illuvial type. The first type is characterized by an increasing spreading of Zn, Pb, and the second one – Co, Ni, Cu, Mn.

The maximum concentration of Pb, Cu, Zn in light gray light loam soils on loess-like loams is confined to the upper part of the soil profile; Ni, V – to the transition and lower parts. Transient bedding rock is obviously the area of removal elements. In the layer of light gray soils (sampling point № 8-19), which is located in area of the former hunting grounds "Batozharnia", the maximum concentration of elements is confined to the transitional bedding rock.

In sod low-medium-podzolic sandy soils with depth there is an increase of the content of Si, Na, K, Mg and Ca, as well as the pH of the soil solution and a decrease – Mn, Ti, Al. It turns out that there is a zone of leaching in the humus-eluvial bedding rocks (HE) and the accumulation in the first from the surface mineral, transitional to the rock, iluvial bedding rock (IR) of Al and Fe oxides.

In soddy-calcareous soils, the concentration of Si, Te, Al, Mn, K decreases with depth, while Ca, Mg increases. The division of the profile of soddy-carbonate light loamy soils into silicate and carbonate parts has a significant effect on the vertical spreading of microelement. Most of microelements accumulate in the upper silicate part of the profile.

Spreading of microelements in soils is inherited from the composition of soil-forming rocks. The main factors in the spreading of microelements in soils are organic matter, clay minerals and acid-base conditions. Analysis of microelements correlations nature with the physicochemical parameters of soils shows that in sod-carbonate light loamy, sod low-podzolic sandy and light gray light loam soils most microelements, as well as Ti, Mg, Al correlate positively with the content of dusty and silty fractions and organic matter. This is due to the strong connection of microelements with organo-mineral complexes of soils.

Spreading of soil-forming elements over the genetic bedding rocks of the studied soil types is subject to general tendency of concentration respreading: decrease in the content along the profile of Te, Fe, Mn and increase in Ca and Mg.

An important factor contributing to increase in the content of these elements in upper part of the soil profile is the increased content of clay mineral particle size fractions and organic matter. Another reason is the carbonate content of the soil-forming rocks, which provides a change in acid-base conditions in the lower bedding rocks of soil profiles.

There are relations between spreading of soil chemical elements and their particle size spreading. In Soddy slightly podzolic sandy loam soils, an increased content of Si, Na was recorded, in Soddy gley sandy loamy soils – Al, Fe, in Soddy slightly podzolic sandy soils with a significant content of silty fractions – Ca, Mg.

Content of toxic elements in the landscapes of National Natural Park "Tsumanska Pushcha". It has been established that the indicators of the accumulation of heavy metals in soils of the NNP are significantly higher than average data for Kivertsevski district of the Volyn region.

Anthropogenic impact, in addition to agricultural activities, is associated here with large enterprises, in particular PJSC "Tsuman", LLC "Tanforan", LLC "Kaminskiy Timber and Venuses", LLC "Ukrlesservice", spontaneous dump of Tsumansky production department of housing and communal services p.g.t. Tsuman and Kadysche village), p.g.t. "Renaissance", PAF "Vistula", HK "Lutskvodokanal", etc.

Wastes of enterprises are substances of I – IV classes of danger. In particular, waste containing aluminum, vanadium, chromium and their compounds, lead (including Batteries for storage purposes or broken ones), iron carbonyls, etc.

Most of the studied HM exceeds the regional geochemical background. Migration and spreading of each metal along the profile of Soddy weakly – medium podzolic soils has its own specifics. Greatest accumulation of copper and zinc occurs in forest litters, and in mineral part of the profile it has a weakly expressed eluvial-iluvian character. Content of nickel, cobalt and manganese increases with depth of its accumulation in soil, which are characteristic of the chemical composition of glacial sediments (Lubben et al., 1991; Sauerbeck et al., 1991).

It is noted that the amount of chromium, manganese and cobalt is higher in soil-forming rocks than in forest litters. Spreading along the profile of chromium, no regularities

were found. The average HM content in the main soil types of the NNP territory is presented in Tables 3 and 4.

Table 3

Average HMs indicators in genetic bedding rocks of soil, most typical for the territory of NNP						
Bedding rock, depth	Mn	Pb	Cr	Ni	Zu	Cu
<i>Sod-slightly podzolic sandy on water-glacial sands and sands lined with Neogene-Paleogene sediments (sands and loams)</i>						
Ho, 0-2 cm	430.0	38.0	23.2	26.2	274.7	23.5
HE, 2-4 cm	176.2	6.2	26.8	13.1	222.5	9.2
E, 4-20 cm	278.4	6.4	28.2	17.4	251.4	19.1
I, 20-60 cm	292.6	5.2	29.1	11.3	232.6	17.4
PI, 60-130 cm	271.5	6.0	19.2	11.7	221.8	18.6
<i>Sod-medium podzolic sandy loam, on water-glacial sediments, with deep bedding of chalk rocks</i>						
Ho, 0-2 cm	367.3	29.1	29.4	31.0	310.7	32.9
HE, 2-5 cm	259.0	7.9	34.2	23.6	227.4	11.2
E, 5-28 cm	383.6	7.0	34.1	26.3	254.9	11.7
I, 28-43 cm	510.3	5.1	38.6	25.4	267.1	14.2
IP, 43-124 cm	554.7	4.6	40.1	25.7	253.9	20.2
<i>Peat-boggy on ancient alluvial sandy and loamy sediments</i>						
THkop, 0-14 cm	362.9	19.6	28.3	27.6	341.3	29.3
HPk, 14-26 cm	341.5	10.2	37.5	24.3	320.5	15.7
Phkgl, 26-31 cm	346.2	13.4	44.3	26.3	343.1	17.4
P(h)kGl, 31-46 cm	362.5	9.0	43.2	25.4	346.8	19.2
<i>Soddy carbonate sandy loam on eluvium of carbonate rocks</i>						
Ho, 0-2 cm	320.4	38.3	26.3	26.0	494.3	22.2
Hk, 2-26 cm	280.6	27.5	34.4	24.3	363.9	16.4
HPk, 26-43 cm	210.2	34.7	36.7	32.6	381.8	18.6
Pk, 43 > cm	168.6	24.2	34.3	31.8	382.0	21.2

Table 4

Total content of micronutrients in the soils of NNP						
Element	Average values	Limits of oscillation	K _{ci}	Background values	Average values	Limits of oscillation
	mg/kg				mg/kg	
	Content of gross forms				Content of mobile forms	
Mn	420	8.1-830	1.06	395	0.89	0.27-1.9
Cr	30.4	5.2-60.8	0.7	39	0.48	0.33-0.9
Ni	25.5	6.3-50.7	2.1	12	0.8	0.6-1.6
Zn	350	60.3-700	5	42	1.1	0.5-2.1
Cu	25.4	6.5-50.4	3.1	8	1.7	0.9-3.4
Pb	30.5	6.4-60.5	2.7	11	0.6	0.38-1.2

By gross content of micronutrients in soil we can arrange the following series of geochemical: Zn > Cu > Pb > Ni > Mn > Cr. Accumulation of lead in forest litters up to 2-3 LOC is clearly traced.

Obtained data about accumulation of heavy metals in soils of the NNP territory are of significant importance, since they are the basis for identifying spatial patterns of soil pollution and establishing the local geochemical background.

Most of heavy metals spread unevenly in the soil cover. High values of the coefficient of variation (V) are more than 34 % typical for heterogeneous set of data on concentration of all studied HMs (Table 5). The highest rate of variation was found for lead concentration – 170 %, and the lowest values were obtained for content of chromium – 34 % and zinc – 36 %.

Table 5

Statistical indicators of HMs content in NNP soils, mg/kg						
Element (background)	Arithmetic mean	Geometric mean	Maximum value	Minimal value	σ	V, %
Mn (395)	420	81.9	830	8.1	341.0	81
Pb (11)	30.5	19.6	60.5	6.4	52.1	170
Cr (39)	30.4	8.1	60.8	5.2	10.5	34
Ni (12)	25.5	17.8	50.7	6.3	11.6	45
Zn (42)	350	205.9	700	60.3	76.7	36
Cu (8)	29.4	19.8	60.4	6.5	21.4	72

To characterize the average content of heavy metals in the soils of the NNP, the arithmetic and geometric mean values were calculated. This is due to the fact that the indicators of the concentration of elements in soils vary greatly and do not obey the law of equable spreading. As a result, arithmetic mean strongly depends on the presence of small number of samples with higher levels of elements. In such cases, it would be more correct to use geometric mean to estimate the HM content in the soil. Geometric mean N of numbers is equal to the root of the Nth degree from the

product of these numbers, in this case – product of all obtained values of the content of a particular chemical element. Such an indicator is always less than arithmetic mean, in terms of its value, large deviations and fluctuations between individual values in the studied set of indicators are much less affected.

High value of the standard deviation (σ) is an indication of the average values of sporadic. Minimum standard deviation was obtained for chromium concentrations – 30.5, and maximum for manganese 341.0.

Table 5 also presents characteristics of the average values of the HM content in soils of the NNP. The average content of all studied HMs exceeds their regional background values.

Lead. Lead usually accumulates in fractions <0.01 mm. Its main concentrators are clay minerals and associated impurities. Gross Pb content in NNP soils averages 30.5 mg/kg almost does not exceed the LOC (32 mg/kg), but 3 times higher than regional background (11 mg/kg). Indicators range from 6 mg/kg in sod-slightly podzolic gley sandy soils to 60.5 mg/kg in Soddy calcareous light loamy soils. In its mobile form, lead is on average at 0.4 mg/kg, the fluctuation range is 0.06–1.9 mg/kg.

However, the geometric mean value calculated by us is 19.6 mg/kg, which is significantly lower than the LOC. Elevated lead content is characteristic of the soils of the western part of the park with developed economic sector and accordingly large anthropogenic load on the soil cover. Significant lead accumulation was found in soils of territories characterized by an increased density of road traffic (Tsuman, Zhuravychi, Kivertsi, Sokyrychi). In places of increased exposure to vehicles (roadsides), high levels of lead accumulation (46–52 mg/kg) are probably due to the use of tetraethyl lead in gasoline until recently. The maximum value of lead content is observed on the lands of the park adjacent to the lake (point № 25) – 59.8 mg/kg. It should be noted that within the military unit to the north-west of the village Zhuravychi there is a technical zone. In the soils of this territory, high values of lead content were also found – 42–57 mg/kg (point № 23). Within the 15th quarter of Horynskii and 49th quarter of the Lopatenskii forestry, lead content in soils is also increased and amounts up to 42.6 mg/kg (point № 37). With distance from center of the military unit, a noticeable decrease in concentration of lead in soils is observed.

Least slightly contaminated with lead, in comparison with other parts of the park, is the floodplain of the river Rudka, composed of sandy and loamy alluvium with peat-bog soils and peat bogs under the black alder forests and bog-grass meadows, where its content does not exceed 5 mg/kg. Thus, the studies carried out showed that the highest lead contamination in soils was detected on lands of the category of economic use (55.3 mg/kg) and zone of stationary recreation (up to 60 mg/kg). It is important to note that on lands of economic use, the concentration of lead in some areas increases with depth and can reach 3–4 LOC in soil bedding rocks close to the parent rock. Also, high values were found for the lands of the protected area, especially for the test plots with Soddy calcareous light loam soils on loess-like loams. Here, lead content exceeded the LOC in only one test plot (57.3 mg/kg).

Barrier role of forest litters is clearly traced, preventing entry of lead into the underlying ground bedding rocks.

Zinc. Average zinc content in NNP soils is 210 mg/kg, which exceeds the background values (42 mg/kg) and the maximum concentration limit (150 mg/kg). Content of mobile forms of zinc ranges from 0.5 to 2.1 mg/kg. Humus bedding rock is characterized by more intensive removal of mobile forms of zinc.

Content of gross forms of zinc in soils ranges from 60.3 mg/kg to 700 mg/kg. The highest concentration is characterized by sod-slightly podzolic sandy soils on water-glacial sands (620–700 mg/kg). The maximum value was recorded on territory of the military unit on the north-west of the village Zhuravychi (point № 136 – 670.5 mg/kg). On lands of economic use, maximum concentration of zinc – 450–680 mg/kg – was found in soil samples taken in quarter 55 on sampling plot № 81 and in the "Hrud" tract. On rural

lands, the maximum value of zinc, which reaches 321.6 mg/kg, was found in the village Yaromel (point № 26–19). The highest zinc content was found to the left of the road to Tsuman (point № 35–19) – 700.6 mg/kg, where an unauthorized household landfill operates. On lands of the protected area this element is less than 60 mg/kg in soil content. Thus, in the NNP, including protected areas, there is a tendency to accumulate zinc. Exceptions are denudation interfluvial lowland plains, composed of low-strength water-glacial sands and sandy loams, with shallow marls and chalks, with sod-podzolic, sod-gley and humus-carbonate clay-sandy and sandy soils (Zn content up to 20 mg/kg) (*Kabata-Pendias et al., 2007*).

It is known that zinc is easily adsorbed by clays and colloids of organic matter. It has different complexing ability depending on the composition of organic matter. In wetlands, 41 % of zinc and 13 % of fulvic acids are bound to the humic acid fraction. Because humic and fulvic acids differ slightly in structure and properties, their ability to form complexes with metals is different. Based on the study of humates and fulvates of the park soils, it was also found that zinc mainly forms complexes with humic acids, but the complexing ability of this element with fulvic acids is much lower (*Kabata-Pendias et al., 1989*).

Nickel. Average nickel content in the organogenic and mineral bedding rocks of the soils of the NNP is average 25.5 mg/kg, however, its concentration varies widely – from 3 mg/kg, in sod-slightly podzolic sandy (point № 20–19) up to 40–50 mg/kg in turf carbonate light loam soils (point № 25–19) and lowland peatlands (point № 22–19). In the studied soils, nickel is contained exclusively in thin fractions (<0.01 mm). In general, its average concentration in the soils of NNP is 1.5 above the background values.

The average content of nickel in mobile form in the mineral bedding rocks of the studied soils is at the level of 0.8 mg/kg, which averages 22 % of its total content, which characterizes the heterogeneous supply of soils in this area with mobile nickel. Organogenic bedding rocks of mobile nickel contain up to 1.3 mg/kg. With depth, the content of mobile Nickel decreases to 0.29–0.34 mg/kg. We calculated the geometric mean value – 17.8 mg/kg. Approximately the background concentration level is 12 mg/kg, but the LOC level is higher and equal to 20 mg/kg. In general, on territory of the NNP there is a tendency to accumulate nickel in soils of the floodplain of the rivers Kormyn and Rudka, including territory of the old peat extraction (37–48 mg/kg). The research revealed only one point (number 31–19) of nickel which is 50 mg/kg. The increased concentration of nickel was recorded in soils of permanent test areas (points №№ 40–19, 58–19) and in territory of an unauthorized landfill (point № 64) – 47.1 mg/kg. On the lands of rural development, as well as on lands of regulated recreation there are no values exceeding the maximum allowable concentration. However, level of background values of nickel content is exceeded in most soil samples, regardless of land use category.

Chromium. Chromium is concentrated in small fractions with a maximum content in fractions <0.01 mm. In the fractions of 0.25–0.1 and 0.1–0.075 mm chromium is not fixed or contained in small quantities (0.001%). In studied soils, chromium is part of the organo-clay-iron aggregates (in fraction of 0.075–0.01 mm), and also occurs in the form of sorbed cations (clay fractions). The average value of chromium in soils of NNP is 30.4 mg/kg, which is 3 times less than the LOC, and below the level of the regional background (39 mg/kg). Concentration of chromium in soils varies from 5.2 to 60.8 mg/kg, which does not exceed the maximum concentration limit. The results of research show

that in the soils of NNP there is a tendency to the accumulation of chromium in sod-weak and sod-medium-podzolic sandy soils on water-glacial sands. Increased content is characteristic of sod carbonate light loam soils developed on loess-like loams. High levels of content (37–40 mg/kg) were also observed for sod podzolic gley sandy soils (37–40 mg/kg) and lowland peatlands (up to 50 mg/kg).

The maximum rate was observed in the 23rd quarter of Horynskiy forestry (point № 47) – 49 mg/kg. The increased concentration of chromium was found in low-power peatlands in floodplain of the Rudka River (point № 6–19) – 45.2 mg/kg. Indicators exceeding the regional background of the content of this element are noted in 37 % of number of soil samples taken on lands of the economic zone and stationary recreation.

High level of chromium concentration in forest litters of sod-slightly podzolic sandy soils on water-glacial sands is 46.2 mg/kg, which exceeds the background values by 3–4 times. The mineral horizons of these soils are also characterized by a high content of chromium – 54.2 mg/kg, which is a consequence of its significant content in the soil-forming rock. Slightly lower concentration of chromium was found in the mineral horizons of sod gley sandy soils – 21.5 mg/kg and sod podzolic gley sandy soils – 30.2 mg/kg.

The amount of mobile chromium in the mineral bedding rocks of soils averages 0.48 mg/kg, which is 42 % of its total content. The range of fluctuations is very wide – 0.33–0.9 mg/kg.

Manganese. According to ICP-AES analysis, the content of Mn in the soils of the NNP ranges from 8–800 mg/kg. The average concentration is 420 mg/kg, with regional background values of 395 mg/kg. Manganese in the soils of the territory is in the form of isomorphic impurities in clay, clay-iron aggregates of fraction 0.075–0.01 mm or in clay minerals of fine fractions and in the absorption complex.

It is established that on the territory of NNP separate territories with dominance of sod-weakly podzolic sandy (tract "Hrud") and alluvial layered sandy soils (quarter 4 of integrated agricultural production center) depleted in manganese, fluctuation limits are of 30–100 mg/kg. Maximum concentration (700–800 mg/kg) is typical for light gray loamy soils (former hunting grounds "Bazhotarnia"). High indicators of manganese content were recorded in the mineral horizons of meadow-swamp and peat-swamp soils (650–670 mg/kg). The selected samples are enriched with organic matter. They also have a high proportion of mobile forms of manganese – up to 1.9 mg/kg, while on average they are about 0.89 mg/kg.

The increased content of manganese in the surface horizon of the soil in the NNP is due, in our opinion, to the fact that manganese is a biophilic element involved in redox processes. In this regard, there is its biogenic accumulation in the surface bedding rocks of the soil, in particular, in the forest litter, formed from plant precipitation. In most samples, amount of manganese is above the background level, but below the LOC level, regardless of the category of nature. High levels of manganese in the park are recorded locally, which is not dangerous because the element is not a toxic pollutant. However, at high concentrations, its phytotoxicity is detected (Anitipov *et al.*, 2002).

In the studied soils, manganese is found in clay-iron and clay aggregates of fraction 0.074–0.01 mm, in clay minerals of fine fractions and in the absorbing complex.

Copper. Average copper content in NNP soils is 29.4 mg/kg, which is three times higher than the regional background value (8 mg/kg). Geometric mean value of the

copper concentration in soils is 19.8 mg/kg, which also exceeds the background value and is close to LOC level (33 mg/kg). Copper is fixed in all fractions of soils of the territory. The maximum values are typical for the fraction <0,01 mm. There is higher concentration in fractions from samples of transitional bedding rock, slightly less – in humus bedding rock.

It was found that in soils of the studied area copper concentrations have significant fluctuations – from 10 mg/kg in sod-slightly podzolic gley sandy to 60 mg/kg in lowland peatlands. According to research, the largest amounts of copper are found in soils on forest deposits and on average their content in soils of the park is 19–25 mg/kg. Maximum concentrations of copper were also recorded in light gray loamy, sod carbonate and sod podzolic gley sandy soils (35–55 mg/kg). Sod-slightly podzolic sandy soils are characterized by low copper content (5–6 mg/kg). According to the spatial spreading of copper in soils, there is a noticeable tendency for the element to accumulate in alluvial layered sandy soils and low-power peatlands located in the floodplain of the Rudka River. The maximum concentration limit was exceeded in 27 % of soil samples. It should be noted there are increased indicators of copper content in sod-medium-podzolic sandy soils in 1–2 quarters of Horynskiy forestry (point № 56) – 51.9 mg/kg and in sod-slightly podzolic sandy soils integrated agricultural production centre "Druzhba", sq. 10 (Davydiv Forest, point № 35) – 55.5 mg/kg. Concentration of copper in the protected area does not exceed 10–12 mg/kg. Content of mobile copper in the mineral bedding rocks of soils averages 1.7 mg/kg. Low concentration of mobile forms of copper is characteristic of meadow soils – 0.9 mg/kg. The highest values of mobile copper were found in sod-slightly podzolic sandy-sandy soils of 3.2 mg/kg, which is about 73 % of the total copper content.

Conclusions. In spatial terms, the landscape-geochemical structure of NNP and adjacent territories are represented by calcium, calcium-carbonate, carbotate-gley, acidic calcium geochemical landscape classes.

Analysis of the content of heavy metals in the soils of the territory showed its non-uniform spreading and dependence on the available sources of anthropogenic impact. The highest concentrations of manganese and chromium are found in soils developed on loess sediments, nickel and copper on glacial sediments.

The main direction of further research should be the study of the spreading of macro- and microelements in various genetic types of soils; determination of the reference content of elements in geochemical landscapes to establish the intensity of migration and nature of the spreading of elements; carrying out biogeochemical zoning. The data on the spreading of pollutants in soil cover of NNP territory landscape complexes are presented; it is an example that illustrates the relevance of such an analysis, especially for protected areas.

The promising tasks for further development of this direction is the study of the distribution of chemical elements in the "soil-plant" system of NNP territory; regularities of composition, development and distribution of vegetation cover depending on the geochemical parameters of the soil; concentration of chemical elements in some types of plants; seasonal dynamics of the content of elements; pathological and specific plant diseases caused by the geochemical features of the landscape; adaptation of plants to new geochemical environmental factors.

Список використаних джерел

- Анитипов, М.А., Голицын, М.С. (2002). Подвижные формы тяжелых металлов в почвах и грунтах зоны аэрации. Геоэкологические исследования и охрана недр. Москва: ООО "Геоинформцентр".
- Водяницкий, Ю.Н. (2009). Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. Москва: Почвенный институт им. В.В. Докучаева.
- Водяницкий, Ю.Н. (2005). Изучение тяжелых металлов в почвах. Москва: Почвенный институт им. В.В. Докучаева.
- Глазовская, М.А. (1990). Принципы классификации почв по опасности их загрязнения тяжелыми металлами. *Биол. науки*, 9, 38-52.
- Дмитрук, Ю.М. (2008). Використання окремих підходів при аналізі еколого-геохімічного статусу ґрунтів різних типів. *Ґрунтознавство*, 9, 41-49.
- Жовинський, Е.Я., Кураева, І.В. та ін. (2012). Еколого-геохімічні дослідження об'єктів довкілля України. Київ: Альфа-реклама.
- Жовинський, Е.Я., Кураева, І.В., Самчук, А.І. та ін. (2005). Важкі метали у ґрунтах заповідних зон України. Київ: Логос.
- Кабата-Пендіас, А., Пендіас, Х. (1989). Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир.
- Ладонин, Д.В. (2002). Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения. *Почвоведение*, 10, 682-692.
- Ладонин, Д.В. (1995). Влияние техногенного загрязнения на фракционный состав меди и цинка в почвах. *Почвоведение*, 10, 1299-1305.
- Adriano, D.C. (1986). Trace elements in the terrestrial environment. New York: Springer. Chap. 9.
- Bakker, D.J., de Vries, W. (1997). Effect-based approaches to assess the risks of persistent organic pollutants to soils. Background document for the workshop on critical limits and effect-based approaches for heavy metals and POP's. Bad Harzburg, Germany.
- Baron, S., Carignan, J., Ploquin, A. (2006). Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-year old pollution (Mont-Lozere, France). *Environ. Sci. Technol.*, 40, 5319-5326.
- Bartlett, R.J., James, B.R. (1979). Behavior of chromium in soils: Oxidation. *Journal of Environmental Quality*, 8, 31-35.
- Zayed, A.M., Terry, N. (2003). Chromium in the environment: Factors affecting biological remediation. *Plant and Soil*, 249, 139-156.
- Tessier, A., Campbell, P., Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of the particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 51, 844-851.
- Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (2010). Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier Science.
- Hodson, M.E. (2004). Heavy metals-geochemical bogey men? *Environmental Pollution*, 129, 341-343.
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B. (2007). Trace elements from soil to human. Berlin: Springer.
- Lubben, S., Sauerbeck, D.R. (1991). The uptake and distribution of heavy metals by spring wheat. *Water, Air and Soil Pollution*, 57-58, 239-247.
- Sauerbeck, D.R., Heir, A. (1991). The nickel uptake from different soil and prediction by chemical extractions. *Water, Air and Soil Pollution*, 57-58, 861-874.
- Anitipov, M.A., Golitsyn, M.S. (2002). Mobile forms of heavy metals in soils and soils of the aeration zone. Geoeological research and protection of mineral resources. Moscow: LLC "Geoinformcenter". [In Russian]
- Bakker, D.J., de Vries, W. (1997). Effect-based approaches to assess the risks of persistent organic pollutants to soils. Background document for the workshop on critical limits and effect-based approaches for heavy metals and POP's. Bad Harzburg, Germany.
- Baron, S., Carignan, J., Ploquin, A. (2006). Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-year old pollution (Mont-Lozere, France). *Environ. Sci. Technol.*, 40, 5319-5326.
- Bartlett, R.J., James, B.R. (1979). Behavior of chromium in soils: Oxidation. *Journal of Environmental Quality*, 8, 31-35.
- Dmytruk, Yu.M. (2008). The use of separate approaches in the analysis of ecological and geochemical status of soils of different types. *Pedology*, 9, 41-49. [In Ukrainian]
- Glazovskaya, M.A. (1990). Principles of soil classification according to the hazard of their contamination with heavy metals. *Biol. Science*, 9, 38-52. [In Russian]
- Hodson, M.E. (2004). Heavy metals-geochemical bogey men? *Environmental Pollution*, 129, 341-343.
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B. (2007). Trace elements from soil to human. Berlin: Springer.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1989). Microelements in soils and plants. Moscow: Mir. [In Russian]
- Ladonin, D.V. (1995). Influence of technogenic pollution on the fractional composition of copper and zinc in soils. *Soil Science*, 10, 1299-1305. [In Russian]
- Ladonin, D.V. (2002). Compounds of heavy metals in soils – problems and methods of study. *Soil Science*, 10, 682-692. [In Russian]
- Lubben, S., Sauerbeck, D.R. (1991). The uptake and distribution of heavy metals by spring wheat. *Water, Air and Soil Pollution*, 57-58, 239-247.
- Sauerbeck, D.R., Heir, A. (1991). The nickel uptake from different soil and prediction by chemical extractions. *Water, Air and Soil Pollution*, 57-58, 861-874.
- Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (2010). Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier Science.
- Tessier, A., Campbell, P., Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of the particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 51, 844-851.
- Vodyanitsky, Yu.N. (2005). Study of heavy metals in soils. Moscow: Soil Institute named after V.V. Dokuchaev. [In Russian]
- Vodyanitsky, Yu.N. (2009). Heavy and superheavy metals and metalloids in contaminated soils. Moscow: Soil Institute named after V.V. Dokuchaev. [In Russian]
- Zayed, A.M., Terry, N. (2003). Chromium in the environment: Factors affecting biological remediation. *Plant and Soil*, 249, 139-156.
- Zhovynskyi, E.Ya., Kuraeva, I.V. et al. (2012). Ecological and geochemical studies of environmental objects of Ukraine. Kyiv: "Alfa-reklama". [In Ukrainian]
- Zhovynskyi, E.Ya., Kuraeva, I.V., Samchuk, A.I. et al. (2005). Heavy metals in soils of preserved areas of Ukraine. Kyiv: Lohos. [In Ukrainian]

Надійшла до редколегії 19.12.2020

References

- Adriano, D.C. (1986). Trace elements in the terrestrial environment. New York: Springer. Chap. 9.

А. Сплодитель, канд. геогр. наук, докторант,

E-mail: asplodytel@gmail.com;

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, просп. Акад. Палладіна, 34, м. Київ, 03680, Україна

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА РОЗПОДІЛУ ТЕХНОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ТЕРИТОРІЇ КІВЕРЦІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ "ЦУМАНСЬКА ПУЩА"

Розглянуто особливості акумуляції та розподілу забруднювальних речовин у ландшафтах КНПП "Цуманська Пуща" в умовах природних і техногенних геохімічних аномалій. Аналіз вмісту важких металів у ґрунтах території засвідчує неоднорідний розподіл та залежність від наявних джерел техногенного впливу. Проаналізовано масив даних та розраховано геохімічні коефіцієнти накопичення основних забруднювачів. Найвищі концентрації марганцю та хрому мають ґрунти, що розвинуті на лесових відкладах, а нікелю та міді – на воднольодовикових відкладах. Більшість досліджуваних важких металів перевищує регіональний геохімічний фон. За валовим вмістом у ґрунтах мікроелементи формують такий геохімічний ряд: $Zn > Cu > Pb > Ni > Mn > Cr$. Чітко простежується накопичення в лісових підстилках свинцю – до 2-3 ГДК.

Більшість важких металів у ґрунтового покриві розподілені нерівномірно. Високі значення коефіцієнта варіації – понад 34 % – характерні для неоднорідної сукупності даних щодо концентрацій всіх досліджуваних важких металів. Найвищий показник варіації виявлений для концентрації свинцю – 170 %, найменші значення отримані для вмісту хрому – 34 % і цинку – 36 %. У вивчених ґрунтах спостерігається два типи розподілу мікроелементів: акумуляція елементів в органічних горизонтах з поступовим зменшенням концентрації в нижній частині профілю та розподіл за елювіально-ілювіальним типом. Для першого типу характерний зростаючий розподіл – Zn, Pb, для другого – Co, Ni, Cu, Mn.

Виконано еколого-геохімічну оцінку розподілу техногенних елементів території КНПП "Цуманська Пуща" на основі порівняння техногенної геохімічної спеціалізації різних середовищ (вода, ґрунти тощо). Для оцінки ролі компонентів ландшафту в загальній геохімічній аномальності території запропоновано створювати сумарні еколого-геохімічні оцінки, що представляють суму значень коефіцієнтів концентрації поллютантів в окремих компонентах.

Основним напрямом подальших досліджень має бути вивчення розподілу макро- та мікроелементів у різних генетичних типах ґрунтів; визначення еталонного вмісту елементів у геохімічних ландшафтах для встановлення інтенсивності міграції та характеру розподілу елементів; проведення біогеохімічного районування.

Ключові слова: валовий вміст, техногенні елементи, коефіцієнти накопичення.

А. Сплодитель, канд. геогр. наук, докторант,
E-mail: asplodytel@gmail.com;
Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины,
просп. Акад. Палладина, 34, г. Киев, 03142, Украина

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ КИВЕРЦОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКА "ЦУМАНСКАЯ ПУЩА"

Рассмотрены особенности аккумуляции и распределения загрязняющих веществ в ландшафтах КНПП "Цуманская Пуща" в условиях природных и техногенных геохимических аномалий. Анализ содержания тяжелых металлов в почвах территории показал неоднородное распределение и зависимость от имеющихся источников техногенного воздействия. Проанализированы массивы данных и рассчитаны геохимические коэффициенты накопления основных загрязнителей. Наиболее высокие концентрации марганца и хрома имеют почвы, развитые на лёссовых отложениях, никеля и меди – на водноледниковых отложениях. Большинство исследуемых тяжелых металлов превышает региональный геохимический фон. По валовому содержанию в почвах микроэлементы формируют следующий геохимический ряд: $Zn > Cu > Pb > Ni > Mn > Cr$. Четко прослеживается накопления в лесных подстилках свинца – до 2–3 ПДК.

Большинство тяжелых металлов в почвенном покрове распределены неравномерно. Высокие значения коэффициента вариации – более 34 % – характерны для неоднородной совокупности данных о концентрации всех исследуемых тяжелых металлов. Самый высокий показатель вариации обнаружен для концентрации свинца – 170 %, наименьшие значения получены для содержания хрома – 34 % и цинка – 36 %. В изученных почвах наблюдается два типа распределения микроэлементов: аккумуляция элементов в органических горизонтах с постепенным уменьшением концентрации в нижней части профиля и распределение по элювиально-иллювиальному типу. Для первого типа характерно растущее распределение – Zn, Pb , для второго – Co, Ni, Cu, Mn .

Выполнена эколого-геохимическая оценка распределения техногенных элементов территории КНПП "Цуманская Пуща" на основе сравнения техногенной геохимической специализации различных сред (вода, почвы и т.д.). Для оценки роли компонентов ландшафта в общей геохимической аномальности территории предложено рассчитать суммарную эколого-геохимическую оценку, что представляет сумму значений коэффициентов концентрации загрязнителей в отдельных компонентах.

Основным направлением дальнейших исследований должно стать изучение распределения макро- и микроэлементов в различных генетических типах почв; определение эталонного содержания элементов в геохимических ландшафтах для установления интенсивности миграции и характера распределения элементов; проведение биогеохимического районирования.

Ключевые слова: валовое содержание, техногенные элементы, коэффициенты накопления.

УДК 549.502.553.3.622.1

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.03>В. Іванченко¹, канд. геол.-мінералог. наук,E-mail: vvivanchenko@ukr.net;Л. Берьозкіна¹, асп.,E-mail: Ikurazyeyeva@gmail.com;В. Стеценко^{1,2}, канд. геол. наук, доц.,e-mail: stesenko-4@meta.ua;Л. Ковальчук¹, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,E-mail: nummulites66@gmail.com;¹ДНУ "Центр проблем морської геології, геоecології та осадового рудоутворення НАН України", вул. Пушкіна, 37-г, м. Кривий Ріг, 50000, Україна;²ДВНЗ "Криворізький національний університет", вул. Пушкіна, 37, м. Кривий Ріг, 50000, Україна

АКТУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ШЛІХОВОГО АНАЛІЗУ СУЧАСНИХ ДОННИХ ОСАДКІВ

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

Мінералогічний аналіз – один з ключових методів дослідження компонентного складу донних осадків поверхневих водойм. За його результатами здійснюється оцінка потенціалу території для господарського використання. Під час проведення шліхового мінералогічного аналізу за класичною схемою виникають втрати цінних мінералів на стадії відмюлювання. Зерна важких мінералів у процесі транспортування водним потоком набувають складної морфологічної структури, стають тонкими, тріщинуватими, пористими і, як наслідок, більш пливучими. Тому в процесі підготовки проби до мінералогічного аналізу значна частина мінералів важкої фракції потрапляє в шламову частину, яка не береться до уваги. Запропонована авторами вдосконалена схема підготовки проби для дослідження дозволяє більш детально розглянути матеріал з урахуванням мулової частини, а відповідно й зменшити втрати цінних складових. Такий підхід підвищує якість проведеного аналізу та дозволяє комплексно вивчати склад донних осадків. Висновки зроблені на прикладі проб, відібраних на території України, зокрема з dna великих рік Чорноморського басейну, річок та балок Криворіжжя, малих річок Північного Приазов'я.

У ході проведення досліджень у всіх отриманих фракціях було виявлено не лише природні складові, а й політанти, переважно у вигляді диспергованого пластику, синтетичних волокон, бітуму, відходів і продуктів діяльності металургійних підприємств. Мінералогічний аналіз, здійснений за такою розгорнутою методикою, відкриває перспективи для рентабельного використання спеціально розроблених методик для виділення цінних мінералів та компонентів з донних осадків і одночасно очистки природного матеріалу від шкідливих домішок. Отже, цей метод перетворюється ще й на екологічний інструмент та ключ до безвідходного використання природних ресурсів.

Ключові слова: донні осадки, мінералогічний аналіз, промисловий регіон, екологія.

Вступ і постановка проблеми. Шліховий аналіз широко використовують для вивчення донних осадків поверхневих водойм. З його допомогою визначають металогенічну і акцесорно-мінералогічну спеціалізацію регіону, джерела зносу рудних мінералів та ореоли їх розсіювання, потенціальну рудоносність осадових товщ, генезис та мінеральний склад руд, ступінь техногенного забруднення території (Шнюков та Иноземцев, 1975; Karnaukhova, 2007; Mykhailov et al., 2013; Rapson, 1965). В Україні шліховий мінералогічний аналіз став одним з основних методів літологічних досліджень. Він виявив суттєву варіативність складу важкої фракції донних осадків природних і штучних водойм та значне забруднення їх промисловими відходами. Одночасно встановлено, що частина важких рудних і індикаторних мінералів втрачається з водним потоком під час відмивки "сірого шліху". Присутність у донному осаді продуктів техногенезу і втрати природних важких мінералів перешкоджають ефективному використанню шліхового методу, ускладнюють застосування гравітаційних методів збагачення розсипів. Тому **проблема підвищення ефективності шліхового методу** є актуальною для країн зі значним потенціалом родовищ розсипного типу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Класична схема підготовки шліхових проб включає відмюлювання, відмивку "сірого шліху", розділення його у важких рідинах, виділення магнітної (МФ), електромагнітної (ЕМФ), неелектромагнітної (НЕМФ) і легкої (ЛФ) фракцій. Кількісний мінералогічний аналіз отриманих фракцій дозволяє розрахувати вміст мінералів осаду в грамах на тону (г/т) (Захарова, 1960; Колченова, 1951). З цією метою застосовуються апарат комп'ютерного аналізу, оптико-математичні програми, рентенофазові визначення і т. ін. У подальшому ця інформація використовується для вирішення різноманітних геологічних задач (Шнюков

та Иноземцев, 1975; Karnaukhova, 2007; Mykhailov et al., 2013; Yang et al., 2002).

Виділення невирішених раніше частин проблеми та формулювання цілей статті. Недоліком вказаного методу є втрата дрібних і морфологічно складних рудних зерен у глинистій фракції, що вимивається з осаду. Внаслідок цього вміст промислово важливих мінералів штучно занижується. Зменшуються площі виявлених ореолів розсіювання. Знижується ефективність пошукових робіт і вірогідність відкриття нових родовищ. Занижуються балансові запаси сировини в родовищах, які передаються в експлуатацію. Втрати зумовлені недооцінкою факторів накопичення тонких виділень золота, срібла, платини та інших металів. Проблема поглиблюється внаслідок використання застарілих методів сепарації розсипів і технологічного обладнання з низьким виходом корисного компоненту в концентрат та значними втратами супутніх більш рідкісних мінералів, оскільки вони переходять у відходи збагачення. Тому рентабельність виробництва основного концентрату знижується. Велика кількість не дуже багатих, але комплексних розсипів з цієї причини не відпрацьовується.

У промислово навантажених регіонах зростає забруднення алювію річок. Природні зрілі осади з їх точками мінералізації і розсипами важких мінералів перекрилися сучасним змішаним природно-техногенним матеріалом, що докорінно змінив металогенічну і теригенно-мінералогічну спеціалізацію седименту континентальних і морських басейнів. В окремих ділянках річкових долин і морських пляжів спостерігається формування рудних грауваків і розсипів з підвищеним вмістом априродної компоненти, часто шкідливої для рекреаційних зон (Малахов та ін., 2011). Дані аспекти ще не знайшли відповідного висвітлення в літологічних дослідженнях сьогодення.

Важливе значення шліхового аналізу і достовірності його результатів приводить до необхідності удоскона-

лення класичної схеми, уніфікації і стандартизації окремих її операцій. Розвиток нових методів збагачення дозволяє економічно обґрунтованим способом використовувати комплексні розсипи з досить низьким вмістом окремих корисних мінералів. Виникає необхідність переоцінки і додаткового мінералогічного вивчення бідних руд та відходів збагачення на новому, більш якісному рівні. Автори на основі власного досвіду і літературних даних доповнили практику шліхового мінералогічного аналізу новими способами та ідеями.

Мета роботи: скоротити втрати важких мінералів за рахунок використання морфоседиментаційної диференціації на стадії підготовки проб, підвищити точність визначення вмісту корисних мінералів, дати кількісну інформацію про ступінь забруднення осаду і навколишнього геологічного середовища, запропонувати нові напрями комплексного використання донних відкладів.

Об'єкти досліджень: сучасні донні осадки річок (Дунай, Дніпро, Південний Буг, Інгул, Інгулець, Саксагань, Обитічна, Солонка та ін.), прибережних ділянок Чорного і

Азовського морів, а також постійних водотоків в балках, прилеглих до території гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) Кривого Рогу. Додатково використовували результати мінералогічного аналізу проб гірських порід, рудних концентратів, твердих і обводнених відходів промислових підприємств.

Методи досліджень. Підготовка проб до мінералогічного аналізу складається з послідовних операцій: дезінтеграція вихідного матеріалу; квартування з відбором дублікату на зберігання і наважки на шліховий аналіз; знешамлення з виділенням щепи, зернистої частини (піску) та шламу; грохочення зернистої частини (сито 0,5 мм) для вивчення літокластів; роздільна відмивка "сірого шліху I" з зернистої частини та "сірого шліху II" зі шламу; спільне розділення отриманих сірих шліхів у бромформі; магнітна сепарація (0,1–0,2 Тл) важкої фракції і отримання магнітної фракції (МФ); подальша електромагнітна сепарація (0,8–0,9 Тл) з отриманням електромагнітної фракції (ЕМФ) та неелектромагнітної фракції (НЕМФ) (рис. 1), а також зважування виділених фракцій.

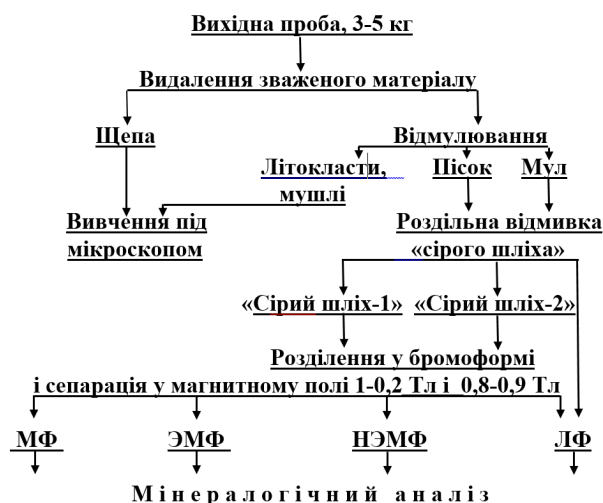


Рис. 1. Схема підготовки проб донного осаду до шліхового мінералогічного аналізу

Отже, вихідна проба в процесі підготовки розділяється на шість фракцій. Кожна з них вивчається мікроскопічними методами. За необхідності виконується палеонтологічний та петрографічний аналіз класу +0,5.

Отримані фракції вивчали за відомими методиками (Гинзбург і др., 1981), з використанням оптичної і растрової електронної мікроскопії (РЕМ), мікрозондового аналізу (МЗА) (аналітик В.В. Пермяков), інших методів. Для узагальнення даних мінералогічного аналізу складено універсальний шаблон у програмі MS Excel. У результаті комп'ютерної обробки в кінцевій таблиці відображені: маса проби і фракцій; масова частка фракцій; вміст мінералів у фракціях в об'ємних і масових відсотках; вміст мінералів у пробі в масових відсотках і в грамах на тонну (г/т). Створений шаблон скорочує витрати часу на математичні розрахунки під час визначення вагового вмісту окремих мінералів у досліджуваному матеріалі та уніфікує результати. А спеціальні перехресні поля для перевірки скорочують вірогідність помилок.

Виклад основного матеріалу. В досліджених пробах донного осаду співвідношення виділених продуктів становить (%): щепа 1–3; літокласти і мушлі 5–9; пісок 70–80; мул 10–20. Рудні розсипоутворювальні мінерали, у тому числі в окремих пробах золото, сконцентровані переважно в "сірому шліху-1", проте значна їх частина постійно присутня і в "сірому шліху-2".

У складі щепи визначені рослинні рештки, диспергований пластик, синтетичні волокна, поліетилен, металеві часточки складної морфології, бітум та інші поллютанти (рис. 2).

Літокласти сучасного осаду містять незмінні в корі вивітрювання гірські породи і руди з родовищ, які розробляються в гірничо-промислових регіонах. Для Криворізького залізорудного басейну симптоматичними є червоношаруваті магнетитові кварцити, лужні метасомати, талькові і кумінгтонітові сланці, пірит, халькопірит, піротин та інші сульфідні, кварц з пілоподібним магнетитом та інші відходи видобутку та збагачення магнетитових кварцитів (рис. 3).

Важка фракція "сірого шліху-1", виділеного з піщаного класу, представлена гранатом, цирконом, ільменітом, рутилом та багатьма іншими рудними і акцесорними мінералами.

Постійним компонентом сучасних делювіально-алювіальних відкладів стали продукти діяльності гірничозбагачувальних і металургійних підприємств. Для донного осаду річок Інгулець і Саксагань характерний підвищений вміст магнетиту. Він представлений кутастими зернами і багатими рудними зростками в гранулометричному класі 0–0,1 мм, і відповідає високоякісному товарному залізорудному концентрату ГЗК Криворізького басейну. Додатково в даний продукт входять вюстит, металічне залізо, магнітні кулі з газоочисних споруд металургійних комбінатів і теплових електростанцій (рис. 4).



Рис. 2. Техногенні компоненти щепи:

а – поліетилен; б – синтетичне волокно; в – мідна провідка з рослинними рештками; г – часточка бітуму.
а, б – р. Інгулець, південна околиця м. Кривий Ріг;
в, г – р. Саксагань, північна околиця м. Кривий Ріг; Бінокуляр. Збільшення: а, б, в – $10\times$; г – $30\times$

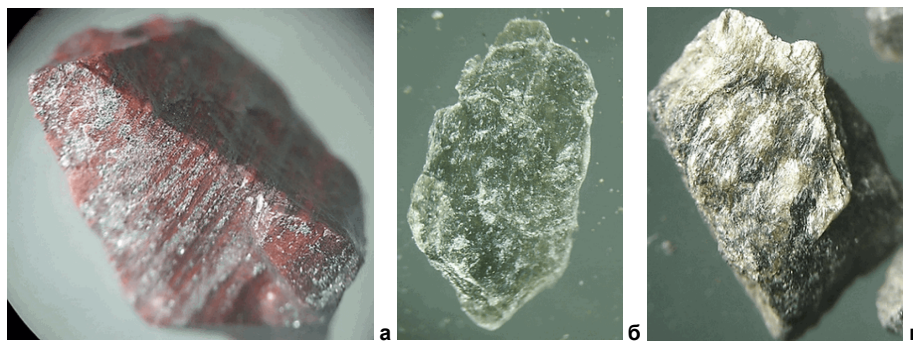


Рис. 3. Незмінені в корі вивітрювання руди, гірські породи і мінерали залізо-кременистої формації у донному осаді р. Інгулець: червошаруватий магнетитовий кварцит (а); тальковий (б) і кумінгтонітовий (в) сланці. Бінокуляр. Збільшення – $40\times$

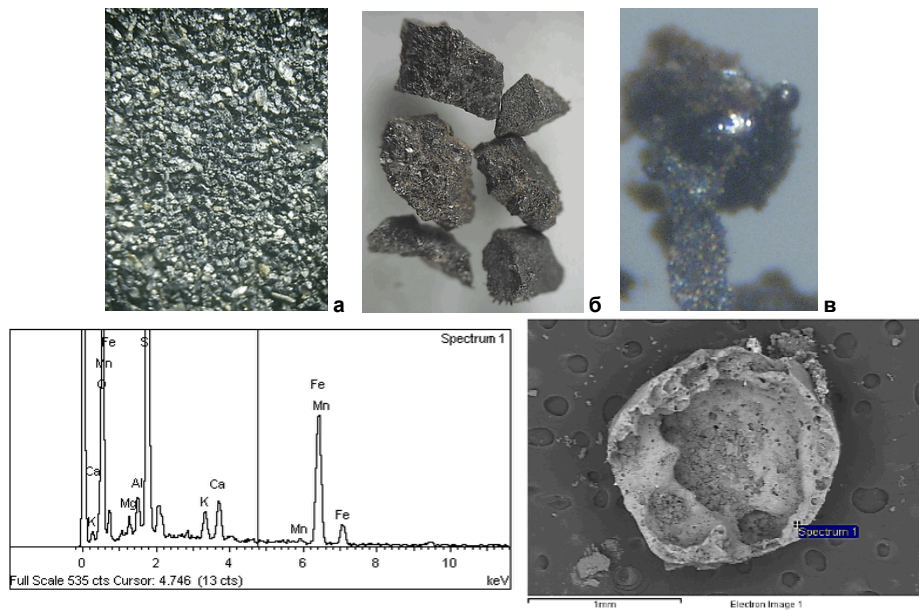


Рис. 4. Продукти гірничо-металургійних підприємств в алювії річок Криворізького залізорудного басейну:
а – втрати магнетитового концентрату ГЗК (р. Інгулець); б – фрагменти рудних магнетитових шарів з відходів попередньої сухої магнітної сепарації збагачувальних фабрик; в – магнітні кульки металургійного походження (р. Інгулець); г – пустотіла магнітна частинка металургійного шламу (р. Саксагань).
а, б, в – бінокуляр; г – РЕМ, МЗА. Збільшення: а – $30\times$; б – $50\times$; в – $60\times$

Масова частка магнетиту у відкладах постійних водотоків Криворізького регіону коливається від 1–2 % до 8–10 %, і в середньому становить 4–5 %. При цьому загальний вміст магнітного продукту в алювії ріки Інгулець на півдні Криворізького залізничного басейну досягає 59,55 % і є одним з важливих критеріїв техногенної трансформації гідроєкосистеми гірничодобувних регіонів (Малахов та ін., 2011).

У важкій фракції "сірого шліху-2", виділеного з мулу, визначені ті ж рудні і акцесорні мінерали, що і в зернистих класах проб. Відмінність полягає в більш складній морфології, широкому розвитку скульптур росту і розчинення на поверхні частин, великій кількості мікропустот (рис. 5).

Накопичені в пелітових касах пластинки золота (рис. 6), срібла, міді та інших металів, аналогічно до лусочок мусковіту і біотиту, перевищують розміри зерен супутніх мінералів. Разом з легкими мінералами вони здатні мігрувати на значні відстані. Цей відомий ефект детально описаний в працях, присвячених "тонкому" або "пливучому" золоту (Шнюков та ін., 2010; Шнюков та Иноземцев, 1975; Mykhailov et al., 2013).

Апатит, циркон, монацит та інші акцесорії сприяють збільшенню вмісту рідкоземельних елементів у глинистій фракції (Yang et al., 2002). Дане твердження вірне й для чорних, кольорових і благородних металів. Це може мати важливе пошукове значення.

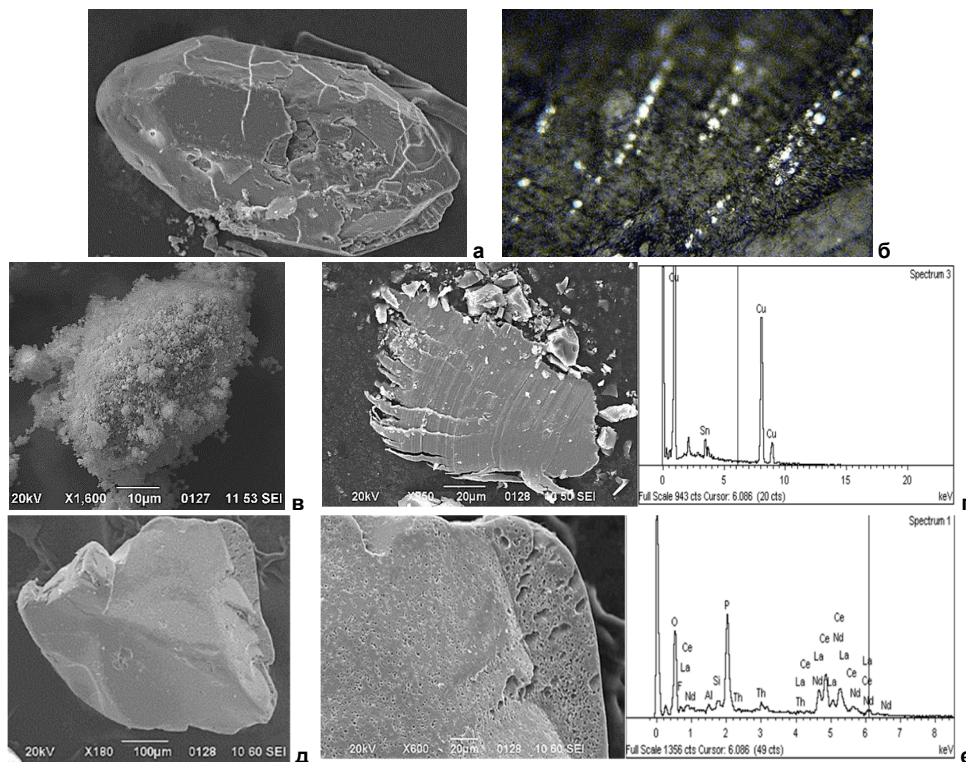


Рис. 5. Важкі мінерали в глинистій фракції донного осаду:

- а – розтрісканий і кородований кристал циркону (р. Дніпро);
 б – кулеподібні вкраплення сульфідів у вуглефікованих рослинних залишках (р. Інгулець);
 в – флокула тонкодисперсних частин на мікрооліті гетиту (Карачунівське водосховище на р. Інгулець);
 г – техногенна пластинка міді (р. Дніпро); д, е – пластинчастий монацит зі скульптурами розчинення граней (р. Дніпро).
 а, в, г, д, е – РЕМ, МЗА; б – відбите світло. Збільшення: 150X

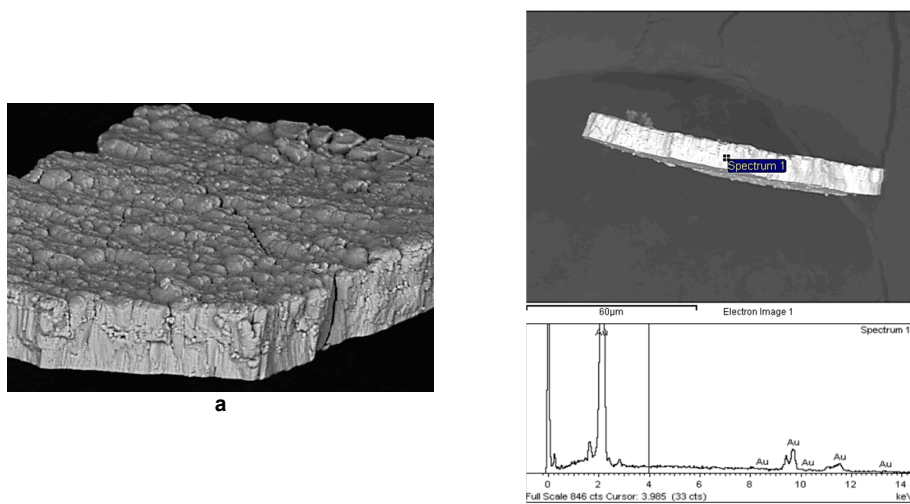


Рис. 6. Пластинчасте скульптуроване золото у верхньому шарі донного осаду р. Дунай. РЕМ, МЗА

У легкій фракції донних осадків домінує кварц і органігенний кальцит. Однак присутні й силікатні кульки з пилу агрегатів металургійних заводів і теплоелектростанцій,

технічний графіт, побутове, автомобільне і промислове скло, кірки сульфатів та інших солей з хвостосховищ і шламосховищ підприємств гірничо-металургійного комплексу (рис. 7).

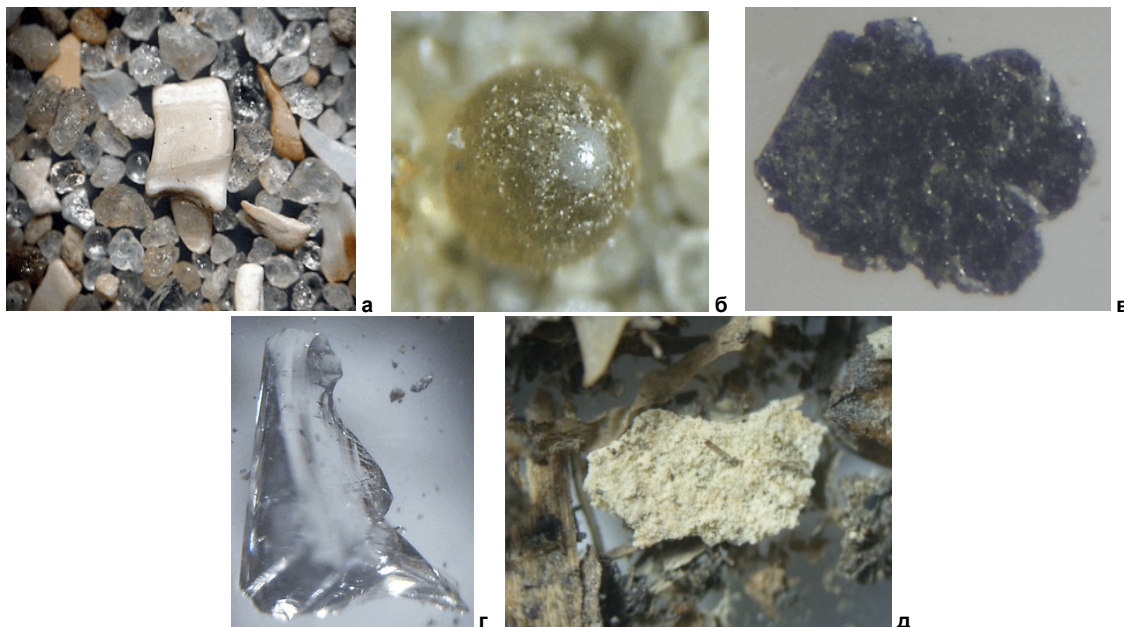


Рис. 7. Компоненти легкої фракції сучасного річкового осаду:

а – кварц і обкатаний мушлевий детрит; б – кулька силікатного скла з пилу металургійного комбінату; в – пластинка металургійного графіту; г – уламок побутового скла; д – кірка соляних мінералів, осаджених з дренажної технологічної води хвостосховища ГЗК. а – р. Обитічна; б – г – р. Інгулець; д – р. Саксагань. Бінокуляр. Збільшення: а – 20X; б – 100X; в – 70X; г – 10X; д – 5X

Розроблений алгоритм проведення мінералогічного аналізу донних осадків дає можливість комплексно дослідити відібраний матеріал, всесторонньо його проаналізувати та візуально відобразити результати.

Порівняно з класичною моделлю проведення мінералогічного аналізу, запропонований варіант показав оцінний "приріст" вмісту мінералів у пробі у г/т за рахунок дослідження шламової частини (рис. 8), що може суттєво впливати на прийняття рішення щодо рентабельності господарського використання надр досліджуваної території.

Обговорення результатів. Проведені комплексні дослідження і розширений мінералогічний аналіз показали важливу роль рослинних залишків поверхневих водойм (щепи) в транспортуванні і накопиченні природних і техногенних матеріалів. Найбільш легкі поліюанти (пластик, поліетилен, синтетичні волокна і тканини, пакувальний матеріал, різні види нафтопродуктів) змішуються з біомасою в єдиний спутано-волокнистий рухливий продукт, який легко переноситься з суші до морського басейну.

Пелітові класи алювію, що вимиваються з проб осаду при відмудуванні, теж містять значну кількість важких мінералів. У водному потоці пелітові частинки є носіями кулонівських зарядів (Пустовалов, 1940). Золото та інші важкі мінерали часто утворюють лускуваті, голчасті або розщеплені кристали, дендрити складної форми, індивіди і агрегати з великою кількістю внутрішніх порожнеч (рис. 5, 6). Разом з пелітовими часточками вони формують стійкі міцели, значна рухливість яких обумовлює міграцію золотинок на значну відстань та спільне осадження з мінералами глин. Використання спеціальних методик дозволяє "звільнити" рудні зерна від електростатично заряджених глинистих часточок і виділити їх у відповідні концентрати.

Фактичний вміст рудних мінералів в осадку повинен визначатися як сума даних аналізу "сірого шліху-1"

і "сірого шліху-2". Це забезпечує "приріст" цінних у промислового значенні мінералів на 10–30 %, порівняно з методами шліхових пошуків, які діють на сьогодні.

У публікаціях (Іванченко, 2019; Іванченко та Чугунов, 2019; Chugunov and Ivanchenko, 2019) доведена можливість цілеспрямованої трансформації морфології та деяких властивостей пластинчастих частинок золота, срібла, платини, міді та інших металів, у результаті якої вони набувають більш простої форми, ущільнюються і ефективно виділяються в рудний концентрат. Розроблена авторами методика дозволяє рентабельно отримувати цінні метали, аксесорні і рудні мінерали з мулових осадків, які, як правило, збагачені даними компонентами. Саме для реалізації подібних проектів важливо проводити деталізований мінералогічний аналіз

Важливим застосуванням нових методів може стати очистка пляжних пісків і донного осаду, накопиченого під час днопоглиблювальних робіт. Вона дозволяє економично обґрунтовано отримувати з них концентрати важких мінералів і видаляти з піску небезпечні для здоров'я людини часточки (Іванченко та ін., 2016).

Виявлені у важкій фракції річного мулу незмінні в екзогенних умовах мінерали рудних концентратів і хвостів збагачення свідчать про зростаюче забруднення водних басейнів не лише відходами, але й основною продукцією ГЗК. Даний матеріал містить у собі підвищені концентрації важких металів, присутність яких може бути певною загрозою, якщо управління продукцією та відходами промислових підприємств не здійснюється з урахуванням поширення їх в навколишньому геологічному середовищі. Світовий досвід показує, що вирішення криється в зміні моделі розвитку окремих регіонів (Wang et al., 2008), оскільки фактори, що гальмують промисловий розвиток, одночасно є й проблемами екологічного характеру.

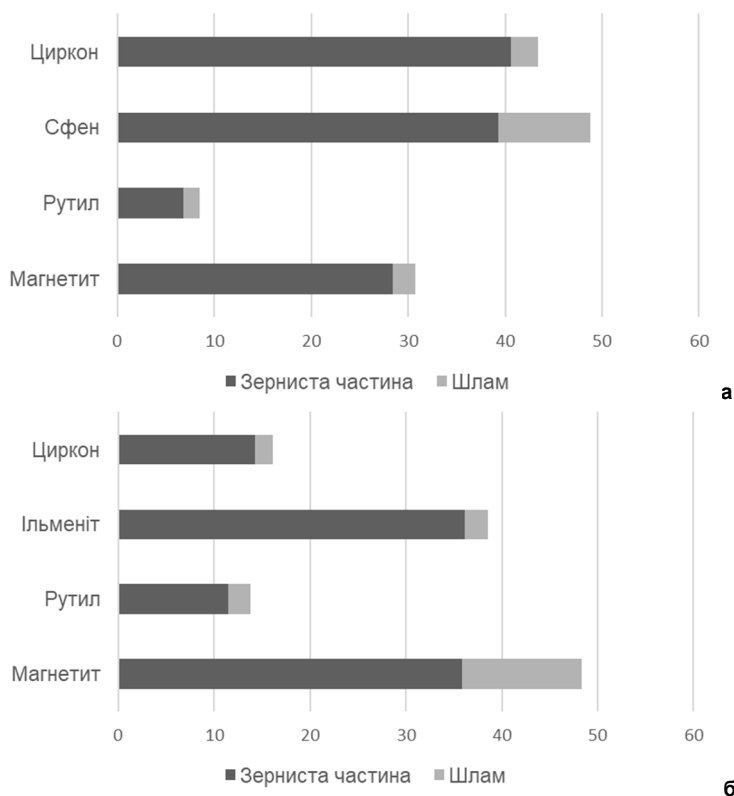


Рис. 8. Вміст деяких акцесорних мінералів у г/т у пробах відібраних:

а – на узбережжі Азовського моря, профіль близько 15 км на захід від м. Бердянськ, з глибин 1,8-2,5 м;

б – на підводному конусі виносу р. Куца Бердянка

Отже, всі фракції і гранулометричні класи сучасних донних відкладів містять суміш природних мінералів, гірських порід і руд з промисловими матеріалами, які забруднюють навколишнє середовище. Тому весь твердий річковий стік у Світовий океан несе в собі потенційну загрозу його мешканцям і людству.

Останнім часом судноплавні компанії всього світу ініціюють штучне поглиблення річкових русел, причалів і акваторії портів. Воно супроводжується значним накопиченням мулистих осадків на підводних і наземних відвалах. З урахуванням високої рухливості отриманого під час днопоглиблювальних робіт донного мулу і неминучого розмиву складів даного матеріалу, виникла необхідність його комплексної переробки.

Сучасні технології штучної трансформації морфології мінеральних зерен і морфоседиментаційної диференціації дають змогу виділяти з відвальних мулів тонке золото та інші природні і промислові метали і сплави, рідкоземельні мінерали, втрачені ГЗК рудні мінерали тощо (Шнюков та Иноземцев, 1975; Іванченко та Чугунов, 2019; Іванченко та ін., 2016; Chugunov and Ivanchenko, 2019). Остаточні продукти переробки донних мулів – очищений кварцовий пісок, маршаліт, глинисті мінерали і сапропель – також є цінною сировиною і будуть користуватися попитом у споживачів.

З рослинних залишків, мікропластику, синтетичних тканин і волокон, бітуму та інших нафтопродуктів можна виготовити звуко- і теплоізоляційні матеріали, паливні брикети для виробництва тепла, електроенергії, пару, гарячої води. Утилізація продуктів органічної хімії поблизу джерел її розповсюдження в цьому випадку буде скомбінована з "зеленою енергетикою".

Потенційні перспективи подібних проектів і рентабельність їх реалізації залежить від якісного і деталізованого мінералогічного аналізу матеріалу осадків.

Вдосконалення методів шліхового аналізу враховує зміну умов утворення і складу донних осадків сучасних

водойм. Тепер мінералог повинен фіксувати не лише природні літо- і кристалокласти, хомогенні утворення, органічні залишки, а і комплекс априродних (штучних) компонентів осаду в усіх гранулометричних класах і фракціях осаду.

Висновки. Сучасні донні осадки являють собою несортовану суміш природних і техногенних компонентів. У промислових регіонах вони перекривають природні більш диференційовані відклади з розсипами і точками мінералізації важких мінералів.

На відміну від класичної методики підготовки матеріалу для проведення шліхового мінералогічного аналізу, запропоновані авторами вдосконалення враховують морфоседиментаційні особливості мінералів у донних осадках, дозволяють комплексно дослідити отриманий матеріал, скорочують витрати часу на проведення дослідження за рахунок автоматизації математичних розрахунків.

Значну роль у транспортуванні рудних мінералів від корінних джерел до гирлових і прибережно-морських фацій відіграють рослинні рештки і пелітова компонента осаду. У них накопичується лускувате золото, зерна важких мінералів зі складною морфологією і значним рівнем накопичення електростатичних зарядів. Мулисті фації у верхніх ділянках алювіального розрізу концентрують дрібні лускуваті та дефектні часточки важких мінералів і є перспективними для пошуків розсипів тонкого золота та інших важких мінералів.

Присутність техногенної складової осаду і вплив морфоседиментаційної диференціації речовини слід враховувати при виконанні шліхового аналізу донних осадків сучасних водотоків. Роздільна відмивка "сірого шліху" із псамітової і пелітової компоненти осаду у комплексі з вивченням щепи підвищує ефективність і достовірність пошукових робіт, збільшує вихід важких мінералів у середньому на 20 %, надає шліховому аналізу екологічного значення.

Наведені методики літолого-мінералогічних досліджень доповнюють вчення про осадову диференціацію речовини новими аспектами морфоседиментаційної диференціації седименту. Це дозволяє підвищити рентабельність використання природної мінеральної сировини і одночасно зупинити поширення диспергованих промислових відходів, локалізуючи ефективну переробку політантів у регіонах їх утворення.

Комплексний підхід до проведення мінералогічного аналізу показує необхідність та перспективність більш активного впровадження нових методів переробки мінеральної сировини при виконанні пошуків, днопоглиблювальних робіт у морських портах і річковому судноплавстві, при поводженні з утвореними в промислових регіонах відходами.

Подяки. Автори дякують академіку Є.Ф. Шнюкову, канд. геол.-мінералог. наук Н.А. Маслакову, канд. техн. наук Ю.Д. Чугунову, інженерам С.Т. Зайцевій, Т.Н. Ільченко, В.Д. Канцер, Н.Р. Журавель та іншим працівникам ДНУ "МорГеоЕкоЦентр НАН України" за цінні поради і надану допомогу під час підготовки матеріалів до публікації.

Список використаних джерел

- Гинзбург, А. И., Кузьмин, В. И., Сидоренко, Г. А. (1981). Минералогические исследования в практике геологоразведочных работ. Москва: Недра.
- Захарова, Е. М. (1960). Шлиховые поиски и анализ шливов. Москва: Изд-во Московского университета
- Іванченко, В. В. (2019). Морфологічні ознаки мінеральних індивідів і агрегатів як фактор седиментаційної диференціації речовини. *Матеріали наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка*, 1, 159-160.
- Іванченко, В. В., Чугунов, Ю. Д. (2019). Штучна трансформація мінеральних зерен і напрямки її використання. *Матеріали наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка*, 1, 161-162.
- Іванченко, В. В., Чугунов, Ю. Д., Шнюков, Є. Ф. (2016). Спосіб очищення пляжних пісків. *Патент України на корисну модель №107615*, бюл. №11 від 10.06.2016.
- Копченкова, Е. В. (1951). Минералогический анализ шливов. Москва: Государственное издательство геологической литературы.
- Малахов, І. М., Альохіна, Т. М., Іванченко, В. В., Бобко, А. О., Агаджанов, М. Є. (2011). Методичні питання вивчення трансформації геологічного середовища у гірничо-видобувних регіонах. Видавництво НАН України. Серія: "Геологічне середовище антропогенної екосистеми".
- Пустовалов, Л. В. (1940). Петрография осадочных пород. Ч. 1. Основы литологии (петрологии) осадочных пород. М.-Л.: Гостоптехиздат.
- Шнюков, Е. Ф., Гожик, П. Ф., Митропольский, А. Ю. (2010). Развитие литологических исследований в Украине. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*, 3, 13-19.
- Шнюков, Е. Ф., Иноземцев Ю. И. (1975). Источники сноса и абсолютный возраст терригенных минералов современных прибрежно-морских осадков Азовского моря. *Литология и полезные ископаемые*, 1, 120-124.
- Chugunov, Y., Ivanchenko, V. (2019). Eco-technology for complex processing of ores and industrial waste. *Proceedings of XIII International Mineral processing and recycling conference. 8-10 may 2019, Belgrade, Serbia*, 172-177.
- Karnaukhova, G. A. (2007). Lithological-geochemical differentiation of bottom deposits in the Angara Cascade Reservoirs. *Geochemistry International*, 45.4, 390-398.

Mykhailov V., Guliy V., Kovtun O., Sydorhuk V., Nakonechna Yu. (2013). The morphology and composition of Liberia placer gold. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4 (63), 45-49.

Rapson, J. E. (1965). Petrography and derivation of Jurassic-Cretaceous clastic rocks, southern Rocky Mountains, Canada. *AAPG Bulletin*, 49.9, 1426-1452.

Wang, M. et al. (2008). Rural industries and water pollution in China. *Journal of Environmental Management*, 86.4, 648-659.

Yang, S.Y., Jung, H.S., Choi, M.S., Li, C.X. (2002). The rare earth element compositions of the Changjiang (Yangtze) and Huanghe (Yellow) river sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 201(2), 407-419.

References

- Chugunov, Yu.D., Ivanchenko, V.V. (2019). Eco-technology for complex processing of ores and industrial waste. *Proceedings of XIII International Mineral processing and recycling conference. 8-10 may 2019, Belgrade, Serbia*, 172-177.
- Ginzburg, A.I., Kuz'min, V.I., Sidorenko, G.A. (1981). Mineralogicheskie issledovaniya v praktike geologorazvedochnykh rabot. Moscow: Nedra [in Russian]
- Ivanchenko, V.V. (2019). Morfolohichni oznaky mineralnykh indyvidiv i ahrehativ yak faktor sedymentsatsiinoi dyferentsiatsii rechovyiny. *Materialy naukovoi konferentsii, prysviachenoi 50-richchiu Instytutu heokhimii, mineralohii ta rudoutvorennia imeni M.P. Semenenska*, Kyiv, 1, 159-160. [In Ukrainian]
- Ivanchenko, V.V., Chuhunov, Yu.D. (2019). Shtuchna transformatsiia mineralnykh zeren i napriamky yii vykorystannia. *Materialy naukovoi konferentsii, prysviachenoi 50-richchiu Instytutu heokhimii, mineralohii ta rudoutvorennia imeni M.P. Semenenska*, Kyiv, 1, 161-162. [In Ukrainian]
- Ivanchenko, V.V., Chuhunov, Yu.D., Shniukov, Ye.F. (2016). Sposib ochyshchennia pliaznykh piskiv. *Patent Ukrainy na korysnu model №107615*, biul. №11 vid 10.06.2016. [In Ukrainian]
- Karnaukhova, G.A. (2007). Lithological-geochemical differentiation of bottom deposits in the Angara Cascade Reservoirs. *Geochemistry International*, 45.4, 390-398. <https://doi.org/10.1134/S0016702907040064>
- Kopchenova, E.V. (1951). Mineralogicheskij analiz shlihov. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo geologicheskoy literatury. [in Russian]
- Malakhov, I.M., Alokina, T.M., Ivanchenko, V.V., Bobko, A.O., Ahadzhanov, M.Ie. (2011). Metodichni pytannia vyvchennia transformatsii heolohichnoho seredovyshcha u hirnycho-vydobuvnykh rehionakh. Vydavnytstvo NAN Ukrainy. Seria: "Heolohichne seredovyshche antropohennoi ekosystemy". [In Ukrainian]
- Mykhailov, V., Guliy, V., Kovtun, O., Sydorhuk, V., Nakonechna, Yu. (2013). The morphology and composition of Liberia placer gold. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(63), 45-49.
- Pustovalov, L.V. (1940). Petrografia osadochnykh porod. Part 1. Osnovy litologii (petrologii) osadochnykh porod. Moscow: Gostoptekhizdat. [in Russian]
- Rapson, J.E. (1965). Petrography and derivation of Jurassic-Cretaceous clastic rocks, southern Rocky Mountains, Canada. *AAPG Bulletin*, 49(9), 1426-1452.
- Shnjukov, E.F., Gozhik, P.F., Mitropol'skij, A.Ju. (2010). Razvitiye litologicheskikh issledovaniy v Ukraine. *Zb. nauk. pr. Instytutu geologichnih nauk NAN Ukrainy*, 3, 13-19. [in Russian]
- Shnjukov, E.F., Inozemcev, Ju.I. (1975). Istochniki snosa i absolyutnyy vozrast terrigenykh mineralov sovremennykh pribrezhno-morskiykh osadkov Azovskogo morja. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1, 120-124. [in Russian]
- Wang, M. et al. (2008). Rural industries and water pollution in China. *Journal of Environmental Management*, 86.4, 648-659. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.019>
- Yang, S.Y., Jung, H.S., Choi, M.S., Li, C.X. (2002). The rare earth element compositions of the Changjiang (Yangtze) and Huanghe (Yellow) river sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 201 (2), 407-419. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(02\)00715-X](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00715-X)
- Zaharova, E.M. (1960). Shlihovye poiski i analiz shlihov. Moscow: Iz-vo Moskovskogo universiteta. [in Russian]

Надійшла до редколегії 24.01.21

V. Ivanchenko¹, PhD (Geol.-Min.),

E-mail: vvivanchenko@ukr.net;

L. Berozkina¹, PhD student,

E-mail: lkurazyeva@gmail.com;

V. Stetsenko², PhD (Geol.), Assoc. Prof.,

E-mail: stesenko-4@meta.ua;

L. Kovalchuk¹, PhD (Geol.), Senior Researcher,

E-mail: nummulites66@gmail.com;

¹SSI "Center for Problems of Marine Geology, Geoecology

and Sedimentary Ore Formation of the NAS of Ukraine",

37g Pushkin Str., Kryvyi Rih, 50000, Ukraine;

²SHEI "Kryvyi Rih National University",

37 Pushkin Str., Kryvyi Rih, 50000, Ukraine

SCHLICH MINERALOGICAL ANALYSIS FOR RESEARCH OF MODERN BOTTOM SEDIMENTS

Gold and other heavy minerals often form scaly, leafy, needle-like or split crystals, dendrites of complex shape, individuals and aggregates with a large number of internal cavities. Significant mobility of these particles in water and air streams causes their separation from the psammitic component of sediment and deposition together with clay minerals. During preparatory stages for mineralogical analysis, such crystals of heavy minerals fall into slime part. According to classical algorithm of schlich mineralogical analysis slime part is thrown away. So it leads to losses of rich minerals and an incorrect analysis.

The main purpose of the article is to present the new algorithm for the preparation of the bottom sediments samples for the mineralogical analysis and to demonstrate practical benefits of it.

Authors propose the meliorated methods of mineralogical analysis considering comprehensive study of test material. The real natural composition of ore minerals in the sediments consists of adding the data "heavy concentrate-1" and "heavy concentrate-2". This provides an increase in industrial value of minerals by 10-30%, compared with the methods of prospecting that operate today. Such detailed analysis showed that modern bottom sediments include both natural components and man-made materials (plastic, polyethylene, synthetic fibers and fabrics, fuel, various types of petroleum products, metallurgical and household waste).

Mineralogical analysis can be used as an ecological method for assessing the environmental pollution and reviewing the types of pollutants. The estimation of mineral reserves according to new methodology opens opportunities for profitable field development of poor polymetallic deposits. The study of bottom sediments by such a method indicates the need to clean hydrogeoecosystems and stimulates the development of new recycling methods in the economy and the waste-free production, for example, cleaning beaches from heavy metals and waste, complex sludge processing after dredging works in riverbeds, berths and port waters.

Keywords: bottom sediments, mineralogical analysis, industrial region, ecology.

В. Иванченко¹, канд. геол.-минералог. наук,

E-mail: vvivanchenko@ukr.net;

Л. Берёзкина¹, асп.,

E-mail: lkurazyeyeva@gmail.com;

В. Стеценко², канд. геол. наук, доц.,

E-mail: stesenko-4@meta.ua;

Л. Ковальчук¹, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд,

E-mail: nummulites66@gmail.com;

¹ГНУ "Центр проблем морской геологии, геоэкологии и осадочного рудообразования НАН Украины",

ул. Пушкина, 37-г, г. Кривой Рог, 50000, Украина;

²ГВУЗ "Криворожский национальный университет",

ул. Пушкина, 37, г. Кривой Рог, 50000, Украина

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ШЛИХОВОГО АНАЛИЗА СОВРЕМЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКОВ

Минералогический анализ один из ключевых методов исследования компонентного состава донных осадков поверхностных водоемов. По его результатам выполняется оценка потенциала территории для хозяйственного использования. Во время проведения шлихового минералогического анализа по классической схеме, возникают потери ценных минералов на стадии отмучивания. Зерна тяжелых минералов в процессе транспортировки водным потоком приобретают сложную морфологическую структуру, становятся тонкими, трещиноватыми, пористыми и, как следствие, более плавучими. Поэтому в процессе подготовки пробы к минералогическому анализу весомая часть минералов тяжелой фракции попадает в шламовую часть, которая не рассматривается. Предложенная авторами улучшенная схема подготовки пробы для исследования позволяет детальнее изучить материал с учетом мути, а, следовательно, уменьшить потери ценных составляющих. Такой подход повышает качество анализа и позволяет комплексно изучить состав донных осадков. Выводы сделаны на примере проб, отобранных на территории Украины, в частности, с дна больших рек Черноморского бассейна, рек и балок Криворожья, малых рек Северного Приазовья.

В ходе проведения исследований во всех полученных фракциях были найдены не только природные компоненты, но и поллютанты в основном в виде диспергированного пластика, синтетических волокон, битума, отходов и продуктов деятельности металлургических предприятий. Минералогический анализ, выполненный согласно с развернутой методикой, открывает перспективы для рентабельного использования специально разработанных методик для выделения ценных минералов и компонентов из донных осадков и очистки природного материала от вредных примесей. Таким образом, метод превращается в экологический инструмент и ключ к безотходному использованию природных ресурсов.

Ключевые слова: донные осадки, минералогический анализ, промышленный регион, экология.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553.041

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.04>В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: vladvam@gmail.com;

М. Курило, канд. геол. наук, доц.,

E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua;

С. Кошарна, канд. геол. наук,

E-mail: sofiia.kosharna@ukr.net;Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, УкраїнаГЕОЛОГО-ПРОМИСЛОВА ОЦІНКА ТА РАНЖУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ОБ'ЄКТІВ
ВІТЧИЗНЯНОЇ БАЗИ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

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

Зміни пріоритетних напрямів фінансування у сфері надрокористування та їх повсюдна переорієнтація на пошук альтернативних джерел сировини, що могли б забезпечити розвиток сучасних високотехнологічних виробництв, є перспективним напрямом на шляху зростання країни в умовах сталого розвитку та переходу на Green Energy Transition. І тим самим ресурсом, що може забезпечити безпечний прогрес у майбутньому й відіграє важливу роль у технологічному розвитку сьогодення, є рідкісноземельні елементи (РЗЕ). У рамках дослідження проаналізовано й узагальнено інформацію щодо сучасного стану обізнаності щодо перспектив видобутку РЗЕ в Україні; проведено систематизацію й актуалізацію наявних даних щодо кількісних і якісних характеристик рудопроявів і родовищ РЗЕ та їхніх геолого-промислових параметрів; визначено основні перепони на шляху активного розвитку робіт на цих об'єктах потенційного видобутку. Отримані результати виконаного ранжування вітчизняних родовищ і проявів РЗЕ доводять доцільність інвестування робіт з геологічних пошуків та реалізації видобутку на окремих ділянках, що визначені як найбільш інвестиційно привабливі для подальшого промислового освоєння та загалом підкреслюють перспективи досліджуваного напрямку й обґрунтовують необхідність інтенсифікації розробки виділених об'єктів рідкісноземельної сировини.

Ключові слова: рідкісноземельні елементи, геолого-промислові параметри родовищ, рідкісноземельна мінералізація, промислова цінність родовищ, розвіданість об'єктів.

Вступ. Актуальність теми дослідження пов'язана із значним розширенням напрямів використання рідкісноземельних елементів (РЗЕ) та загостренням питань безпечного і безперервного постачання металів основним споживачем продукції. Ці питання набули особливого стратегічного значення в останні роки для ряду країн, зокрема США, ЄС, Японії, Австралії та ін., де РЗЕ включені до переліку видів критичної мінеральної сировини (*Rare Earth*, 2020). Окрім того, світовий перехід на Green Energy Transition суттєво вплинув на пріоритетність фінансування у сфері надрокористування, переорієнтувавши її на пошук альтернативних джерел, що дозволять втілити в життя обрану стратегію шляхом плавного переходу на безкарбонне виробництво у більшості сфер.

Насамперед ці пошуки націлені на виявлення можливостей видобутку рідкісних та рідкісноземельних металів, оскільки потреба в останніх зростає щороку і зумовлена не лише змінами у світовій економіці, але й зростанням кількості можливих напрямів їх використання (Михайлов, 2010).

Нині рідкісноземельні елементи є важливою частиною багатьох сучасних пристроїв, необхідними компонентами більш ніж 200 продуктів, особливо високотехнологічних, таких як мобільні телефони, комп'ютерні диски, електричні та гібридні транспортні засоби, монітори та телевізори з плоским екраном та ін. Ще однією особливою сферою використання РЗЕ є комплектуюча – для обладнання відновної енергетики (наприклад, робота вітрових турбін). Саме з цими напрямками пов'язані надзвичайні темпи зростання споживання рідкісноземельних концентратів та активізація пошуків можливих джерел їх вилучення. Проблема загострюється введеними в останні роки обмежувальними заходами на експорт рідкісноземельної продукції з боку Китаю – її основного постачальника на світові ринки, насамперед з гігантського родовища Баян-Обо (*Chao et al., 1997; Smith and Wu, 2000*), що зумовлює необхідність пошуків нових джерел рідкісних елементів у всьому світі.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими практичними завданнями. Україна є найбільшою рідкіс-

ноземельною металогенічною провінцією Європи, родовища пов'язані з лужними сієнітами (Азовське, Анадольське, Петрово-Гнупівське); польовошпатовими метасоматитами урановорудних родовищ (Северинівське, Лозоватське, Калинівське Південне, Балка Корабельна); корами вивітрювання (Хашуватське, Азовське); монацитомісними розсипами (у Волино-Подільському і Приазовському районах Українського щита (УЩ)). Цей вид сировини є стратегічно важливим для економіки нашої країни, хоча її родовища поки не розроблюються (Гурський, 2008).

Україна має свої переваги щодо розвитку мінерально-сировинної бази (МСБ) РЗЕ, які пов'язані з наявністю комплексних родовищ і рудопроявів, але їх промислове освоєння й доведення потребує значних інвестицій. Позитивним фактором для наших об'єктів є розвинута інфраструктура видобувної промисловості майже в усіх регіонах та близькість до ринку європейських споживачів.

Раніше проведені дослідження та публікації. Вивченням рідкісноземельної мінералізації в Україні займалися численні колективи як виробничників (ДРГП "Північгеологія", КП "Південьургелогія", КП "Кіровгеологія", Схід ДРГП), так і науковців (ІГМР НАН України, ІГН НАН України, КНУ імені Тараса Шевченка та ін.) (*Гурський та ін., 2006; Загнітко та ін., 2017; Михайлов та ін., 2007; Мицкевич и др., 1986; Мінеральні ресурси..., 2017; Melnikov et al., 2000*).

Результати робіт виробничого характеру узагальнено в положеннях Загальнодержавної програми розвитку МСБ України до 2030 р. Відповідно до пункту "Рідкісні землі та ітрії" на території України виявлено кілька сотень об'єктів концентрації РЗЕ, більшість з яких локалізовано в межах УЩ і на прилеглих площах. Тут виділено рідкісноземельну металогенічну провінцію, в якій є прояви зрудення майже всіх відомих ендегенних та екзогенних рідкісноземельних формацій. У межах цієї провінції розглядаються три райони концентрацій рідкісноземельного зрудення, у межах яких є родовища і перспективні рудопрояви: Південно-Східний, Північно-

Західний і Центральний. Державним балансом запасів корисних копалин враховано Новопоплавське родовище апатит-рідкіснометалічних руд. Також відоме Азовське родовище рідкісних земель, яке виділено за результатами пошуково-оцінювальних робіт. Як перспективи подальшого розвитку в Програмі передбачені такі кроки:

- підготовка до дослідно-промислової експлуатації Азовського цирконій-рідкісноземельного родовища;
- оцінка ресурсів Шевченківського рудного поля, Анадольського прояву та Христофорівської ділянки;

• здійснення оцінки рідкісноземельних руд у корих вивітрювання Суцано-Пержанської зони;

• геологічна оцінка перспективних ультраметаморфічних комплексів УЩ.

Станом на 01.01.2019 р. на державному балансі обліковувались запаси трьох родовищ: Новопоплавського, Азовського та Яструбецького (табл. 1). Всі родовища є комплексними.

Таблиця 1

Руди рідкісних металів (Стан запасів..., н.д.)

Корисна копалина	Одиниця виміру	Кількість родовищ		Запаси станом на 01.01.2019				Погашено запасів у 2018 р.		
		Всього	Розроб.	Балансові, всього		Балансові, в розробці		Всього	Видобуток	Втрати
				A+B+C ₁	C ₂	A+B+C ₁	C ₂			
Ванадій	Руда, тис. т	13	6	5527,3	995,2					
	Руда/пісок, тис. м ³			219888,9	14407,2	202133,9		4559,0	4459,5	99,5
	V ₂ O ₅ , Nbс/п			15,50	322,18		256,75	0,23	0,19	0,04
Стронцій	Руда, тис. т	1	1	859627	95858	859627	95858			
	Окис стронцію, тис. т			865	87	865	87			
Руди гафнію	Пісок, тис. м ³	2	2	208685,9	315624,0	202133,9		4559,0	4459,5	99,5
	Окис гафнію, т			4904,4	11026,8	4476,2	11026,8	283,3	281,1	2,2
Ітрієві лантаніди	Руда, тис. т	3	1	860524	741358	859627	95858			
	TR ₂ O ₃ , тис. т			1939,74	291,66	1938,00	274,00			

У 2019 р. поставлено на баланс також попередньо розвідані запаси Анадольського родовища, для якого було надано спеціальний дозвіл на видобування.

Виділення не вирішених частин загальної проблеми. Проведені детальні дослідження вітчизняних науковців та геологів стосуються певних аспектів геології, мінералогії, ресурсної бази родовищ і проявів РЗЕ. На сьогодні актуально є систематизація і аналіз сукупності наявної різночасової геологічної інформації по всій МСБ РЗЕ, що дозволить виділити найбільш перспективні для інвестора об'єкти з урахуванням конкретних вимог до якості і кількості запасів. Крім цього, узагальнювальні документи містять деякі неактуальні дані щодо родовищ, які вже надані у користування, що потребує актуалізації.

Формулювання цілей статті. Метою статті є систематизація масиву накопичених даних з рідкісноземельної мінералізації України за геологічними, гірничо-технічними, технологічними, ресурсними і економічними показниками, проведення ранжування вітчизняних родовищ і проявів РЗЕ з метою оцінки їх інвестиційної привабливості на принципах, висвітлених у більш ранніх роботах авторів (Михайлов та ін., 2017; Михайлов та Курило, 2017).

Виклад матеріалу дослідження. В Україні відомі родовища як традиційних типів, пов'язані з карбонатами (Новопоплавське) і маріуполітами (Октябрське), так і нетрадиційних: багаті цирконієві і рідкісноземельно-цирконієві руди безнефелінових сієнітів (Азовське та Яструбецьке) (рис. 1). Крім того, в Приазов'ї знаходиться прояв багатих руд церієвої групи (Петрово-Гнутівський), складений паризитом, кальцитом і флюоритом. Характер розподілу рідкісних земель у породах УЩ детально розглянуто в роботі (Мицкевич і др., 1986), де показано, що накопичення легких лантанідів пов'язане з карбонатним метасоматозом, а ітрію і важких лантанідів – з процесами калієвого метасоматозу і грейзенізації.

Особливий інтерес становлять карбонати Новопоплавського, маріуполіти Октябрського масивів, лужні метасоматити Суцано-Пержанської зони. За зв'язком з типами порід ендегенна рідкісноземельна мінералізація може бути: 1) цирконій-торій-рідкісноземельною в гранітах, сієнітах і пегматитах (Миколаївське і Сабарівське

родовища Придніпров'я, Яструбецьке – Полісся, Успенський прояв Приазов'я); 2) ітрієво-рідкісноземельно-цирконієвою і церій-лантановою в лужних сієнітах (Азовське, Анадольське, Петрово-Гнутівське родовища Приазов'я); 3) уран-торій-ітрієво-рідкісноземельною в калієвих і натрієвих метасоматитах (Позуватське, Калинівське, Південне – Кіровоградського УРР). Руди більшості родовищ України належать до бідних, і саме з цим пов'язані труднощі їхньої експлуатації.

Виділяють чотири найважливіших райони розвитку ендегенної рідкісноземельної мінералізації:

1. Подільський, де вона пов'язана з гранітами бердичівського і житомирського комплексів, діоритами і гранодіоритами Звенигородського комплексу;

2. Пержанський рудний вузол з пержанськими гранітами, сієнітами і калієвими метасоматитами з цирконом і брітолїтом (Яструбецьке);

3. Криворізький УРР з калієвими і натрієвими метасоматитами, сієнітами корсунь-новомиргородського комплексу;

4. Приазовський – з гранітами і пегматитами салтичанського, анадольського (Анадольське), кам'яномогильського за комплексів, карбонатами чернігівського (Новопоплавське), сієнітами південнокальчичького комплексу (Азовське).

Крім ендегенної, відомі прояви рідкісноземельної мінералізації, пов'язаної з корою вивітрювання, а також монацитовмісні розсипи (Волино-Подільський і Приазовський р-ни).

Опис родовищ рідкісноземельних елементів наводиться за літературними джерелами (Гурський та ін., 2006; Загнітко та ін., 2017; Михайлов та ін., 2007; Михайлов, 2010 та ін.).

Новопоплавське карбонатитове рідкіснометалічно-апатитове родовище Приазов'я належить до великих комплексних об'єктів. Воно локалізовано в карбонатитах чернігівського комплексу, які є складовою частиною приуроченої до зони Оріхово-Павлоградського глибинного розлому субмеридіональної складнопобудованої смуги лужно-ультраосновних порід і метасоматитів з довжиною 12 і шириною до 1 км. Апатитоносні карбонати,

нефелінові і лужні сієніти складають кулісноподібні крутопадаючі тіла потужністю від 10–20 до 100 м, що простягаються на відстань від перших сотень метрів до перших кілометрів. Родовище складене кальцитовими і кальцит-доломітовими карбонатитовими рудами, поклади мають дайко- і штокоподібну форму з різкими, крутими контактами з вмісними фенітами, нефеліновими сієнітами та йоліт-мельтейгітами. Найважливішим рудним компонентом є апатит, присутні також монацит, пірохлор, церієвий фергюсоніт, колумбіт, гатчетоліт, циркон, баделеїт, ортит, ешиніт і ферсміт. У карбонатитах сумарний вміст

рідкісних земель досягає 0,17–4,6 %; Nb_2O_5 – 0,06–0,3 %; Ta_2O_5 – 0,002–0,003 %; P_2O_5 – 4,3 %. Головним рідкісноземельним мінералом є монацит, в якому вміст РЗЕ досягає 65 %. Монацит має низький вміст торію (0,1–0,3 %), що підвищує цінність концентрату цього мінералу. Багато РЗЕ, які можуть бути вилучені, зосереджено в апатиті (середній вміст 1,0–1,5 %, максимальний – 8–11 %). У апатитах серед РЗЕ переважають Ce (0,6–1,1 %) і La (0,1–1,6 %), присутні (г/т): Y (150–600), Sm (250–400), Eu (40–150), Tb (40–100), Yb (10–20), Lu (0,3–0,7).



Рис. 1. Схема розміщення рідкіснометалічних і рідкісноземельних родовищ України (Михайлов та ін., 2007)

Металогенічні зони: I – Суцано-Пержанська; II – Кочерівська; III – Подільська; IV – Хмельницька; V – Голованівська;

VI – Звенигородська; VII – Ліпняжська; VIII – Хмелевська; IX – Кіровоградська; X – Новоукраїнська; XI – Північнотерсянська;

XII – Федорівська; XIII – Південнодонбаська; XIV – Гайчурська; XV – Чернігівська; XVI – Сорокинська; XVII – Октябрська;

XVIII – Кальміуська. **Родовища:** 1 – Малобеганське (Ge); 2 – Яструбецьке (РЗЕ, Zr); 3 – Пержанське (Be); 4 – Станкуватське (Li, Ta, Nb);

5 – Лозоватське (РЗЕ, U, Th); 6 – Калинівське (РЗЕ, U, Th); 7 – Полоховське (Li, Ta, Nb); 8 – Южне (РЗЕ, U); 9 – Тарасівське (РЗЕ);

10 – Жовторіченське (Sc, U, Th, Fe, V); 11 – Новоополтавське (Nb, РЗЕ); 12 – Успенівське (РЗЕ); 13 – Шевченківське (Li);

14 – Воскресенівське (Li); 15 – Крута Балка (Ta, Nb, Li); 16 – Азовське (РЗЕ, Zr, Nb); 17 – Мазурівське (Nb, Zr);

18 – Анадольське (РЗЕ); 19 – Покрово-Кириївське (Be, РЗЕ); 20 – Петрово-Гнутівське (РЗЕ)

За розрахунками, лише вилучення РЗЕ з апатиту може окупили всі витрати на освоєння та експлуатацію родовища. Середній вміст апатиту в карбонатитах становить 10 %, іноді досягаючи 30–50 % в невеликих фоскоритових тілах. ПРАТ "Волинська гірничо-хімічна компанія" отримано спеціальний дозвіл з метою видобування рідкіснометалічно-апатитових руд Новоополтавського родовища. Нині видобуток на родовищі не проводиться.

Октябрське (Мазурівське) родовище належить до комплексних цирконій-рідкісноземельно-ніобієвих родовищ. Воно приурочене до Октябрського масиву нефелінових сієнітів з пірохлор-цирконієвими рудами в альбітитах і маріуполітах. Рудні мінерали в маріуполітах і пов'язаних з ними альбітитах представлені пірохлором, цирконом, бритолітом. Вміст РЗЕ в рудах в середньому сягає 0,2 %, у бритоліті – 65 %, у пірохлорі – 1–5 %. Планується комплексна розробка руд як глиноземної сировини з попутним вилученням РЗЕ. Прогнозні ресурси – 200 тис. т TR_2O_3 .

Азовське родовище належить до нового промислово-генетичного типу, не має світових аналогів. Воно розташоване в північно-східній частині Володарського масиву Приазовського блоку; масив складений інтрузив-

ними породами палеопротерозойського південнокальцицького комплексу. Родовище приурочене до серії сієнітових штоків, найбільший з яких – Азовський (1,3 км²), складений лужно-польовошпатовими, піроксен-амфіболовими і кварцовими сієнітами і пегматитами. Широко розвинені амфіболові сієніти і лужні метасомати. Серед лужно-польовошпатових сієнітів виявлено дев'ять рудних тіл, представлених кумулятивними прошарками серпоподібної форми, збагачених рудними мінералами, їх потужність сягає декількох метрів. Головне рудне тіло має довжину 1640 м, середню потужність 32 м. Рудоносні різновиди частіше представлені мезо- і меланократовими сієнітами (з ферогастингситом, геденбергітом, фаялітом), рідше лейкократовими. Є рідкісноземельно-цирконієві і цирконієві типи руд. Руди вкраплені, склад полімінеральний і бритолітовий. Рудні мінерали: бритоліт, бастнезит, ортит, циркон, монацит, чевкініт, ітріаліт, магнетит, рабдофаніт, флюорит. Вміст РЗЕ в рудах зазвичай становить перші відсотки, іноді досягаючи 20–30 %, а вміст Zr коливається від 0,02 до 27 %. Середній вміст TR_2O_3 – 1,27 %, ZrO_2 – 1,5 %. У технологічній пробі встановлено вміст (% від суми РЗЕ): Ce – 46,8; La – 19,0; Nd – 18,5; Pr – 4,3; Sm – 3,3; Dy – 1,7; Er – 0,4; Tb – 0,3;

Ho – 0,3; Tm – 0,1; Lu – 0,1 і Y – 0,5; у руді присутні U (0,0012-0,0142 %) і Th (0,0035-0,094 %).

Циркон утворює густу вкрапленість (1–3 мм), зростки зерен, рудні агрегати, зростки з польовими шпатами, амфіболами, рідкісноземельними мінералами. Бритоліт (головний рідкісноземельний мінерал) утворює вкрапленість, зростки і агрегати призматичних кристалів неправильної форми з виділенням до 2–3 см в пегматоїдних ділянках. Перебуває в парагенезисі з цирконом, ортитом і рідкісним чевкінітом. Бритоліт є комплексним рідкісноземельним мінералом, зазвичай переважають його істотно церієві різновиди, в меншій кількості зустрічаються ітрієві. Значний вміст Y (до 6–10 % від суми РЗЕ) підвищує промислову цінність сировини. Ортит асоціює із цирконом і бритолітом, а в катаклазованих ділянках разом з магнетитом і флюоритом виповнює прожилки в польовошпатовій масі. Бастнезит спостерігається у вигляді окремих виділень, гніздоподібних скупчень, включень у цирконі, флюориті і жильних мінералах, у складі псевдоморфоз по бритоліту і ортиту. Містить (%): Y_2O_3 – 4,14, TR_2O_3 – 56,36; La – 12; Ce – 21; а також (г/т): Sm – 105, Eu – 1070, Th – 2700, Yb – 42, Lu – 0,8.

Прогнозні ресурси родовища до глибини 300 м оцінюються в 56 млн т руди із середнім вмістом TR_2O_3 1,27 % (при бортовому 0,4 %) і Zr_2O_3 – 1,5%, або 710 тис. т TR_2O_3 , з яких 20 % становлять Y-лантаніди, а також 840 тис. т Zr_2O_3 .

Технологічні дослідження руд показали можливість застосування схеми гравітаційно-магнітного збагачення їх зернистої фракції і флотаційного збагачення шламів. Переробка концентратів на селективні рідкісноземельні продукти можлива на Придніпровському хімзаводі (м. Кам'янське). Технологія гідрометалургійного очищення дозволяє переводити в розчин близько 72–97 % РЗЕ, які можуть бути легко екстраговані іонно-обмінною технологією. Цирконовий концентрат відповідає сорту "цирконовий концентрат металургійний", польовошпатовий придатний для використання в скляній промисловості.

На жаль, початок промислового відпрацювання родовища стримується технологічними і економічними труднощами. Справа в тому, що РЗЕ на родовищі сконцентровані в основному в силікатній формі – бритоліті, який за фізичними властивостями і вмістом РЗЕ значно поступається монациту, що і зумовлює низькі показники технологічного вилучення. Отриманий концентрат із вмістом TR_2O_3 близько 13 % неконкурентоспроможний щодо стандартного світового монацитового концентрату, в якому кількість TR_2O_3 досягає 55 %, що зумовлює необхідність проведення додаткових технологічних досліджень.

КП "Південьукргеологія" в минулі роки були проведені пошуково-оціночні роботи й підраховані запаси та перспективні ресурси комплексних цирконій-рідкісноземельних руд.

Яструбецьке родовище цирконієвих руд є аналогом попереднього, проте тут поки не виявлені багаті руди РЗЕ, хоча в сієнітах є той же набір мінералів (бритоліт, ортит, бастнезит), що і в Азовському родовищі. Родовище розташоване в південно-західній частині Пержанського рудного вузла, пов'язане з однойменним масивом лужних сієнітів, до якого приурочені декілька серповидних рудоносних зон завдовжки до 2 км, потужністю 5–120 м, збагачених цирконом. Присутні також ільменіт, магнетит, апатит, ортит, бастнезит, паризит, флюорит, бритоліт та ін. Сумарний вміст РЗЕ в окремих тілах досягає 0,07–0,3 %, іноді 1,24 %. Головні рудні мінерали – бритоліт і циркон; вміст (%) TR_2O_3 в бритоліті може досягати 50,2; Y_2O_3 – 10; ZrO_2 – 5-6; Se_2O_3 – 15-16; La_2O_3 – 6-7; Gd_2O_3 – 1; Yb_2O_3 – 0,6; Tu_2O_3 – 0,4; Eu_2O_3 – 0,1.

У цирконі вміст TR_2O_3 + Y_2O_3 становить 1,24 % при вмісті Hf 0,8 % і такому складі РЗЕ (від 100 %): La – 1,30; Ce – 2,26; Pr – 0,6; Nd – 1,54; Sm – 2,86; Gd + Eu – 4,46; Tb + Y + Dy – 65,86; Ho – 2,66; Er – 5,14; Tu – 1,95; Yb – 11,10; Lu – 0,27. Склад циркону істотно ітрієвий, а бритоліту – ітрій-церієвий.

Родовище вважається великим, проте значна глибина залягання відомих рудних тіл (понад 500 м) ускладнює його можливу промислову розробку. Воно може бути джерелом попутного видобутку такої нерудної сировини, як польові шпати і флюорит.

Успенівський прояв Західного Приазов'я приурочений до тіл пегматитів і пегматоїдних гранітів. Він локалізується в альбітизованих крайових ділянках. Вмісні породи представлені кварцитами і гнейсами осипенківської серії. Потужність рудних тіл коливається від декількох сантиметрів до 59 м при довжині до 300 м. За мінеральним складом зруденіння ксенотим-циртоліт-уранінітове. Вміст РЗЕ – від 0,03 до 0,11 %, Y – до 0,015 %. Продуктивна кора вивітрювання, розкрита на глибині 78–92 м, містить до 5,45 кг/т ксенотиму і до 34 г/т монациту, має високу радіоактивність. Вік уранової мінералізації в пегматоїдних гранітах – 2,0–1,9 млрд р.

Анадольське родовище представлене рудною зоною, що перетинає анадольські граніти і метаморфічні породи західноприазовської серії на південний схід від Октябрського масиву. Зона (0,7–3,0 м) протяжністю 1000 м полого занурюється (30–45°) на південний захід і простежена на глибину 400 м. Вона характеризується жильно-прожилковою флюорит-апатит-ортитовою мінералізацією з вмістом TR_2O_3 – 0,1–16,7 % (середнє – 9,23 %). Руди масивні, плямісті, грубо- і тонкосмугасті, з високим вмістом Fe_2O_3 , Fe і Ca, підвищеним – Mn, P і F, низьким – SiO_2 і Al_2O_3 . Рідкісноземельні мінерали представлені ортитом, церитом, цербастнезитом, апатитом і флюоритом. Ортит утворює гнізда й лінзи (до 10–15 см) снопо- і віялоподібних агрегатів видовжених призматичних кристалів (0,5–1,5 мм), містить 23,7 % TR_2O_3 . Церит утворює вкраплення дрібних ксеноморфних й ізометричних зерен (0,5–2,0 мм) серед агрегатів ортиту, включення у флюориті, містить 70,1 % TR_2O_3 . Бастнезит приурочений до міжзернових ділянок ортиту і заміщує останній. Вміст TR_2O_3 у бастнезиті – 60 %. Апатит і флюорит (2,9 і 0,8–1,12 % TR_2O_3 відповідно) утворюють у смугастих рудах тонкі прошарки, які чергуються з прошарками ортиту, за хімічним складом належать до церієвих різновидів апатиту і флюориту. Запаси руди родовища значні, її промислові дослідження на Придніпровському хімзаводі дали позитивні результати.

Петрово-Гнутівський прояв розташований у долині р. Кальміус на північному сході від м. Маріуполя, представлений крутопадаючою флюорит-рідкісноземельно-карбонатною жилою (до 3 м) у фенітизованих граносієнітах ендоконтактової зони Кальміуського масиву. Жила простежена в північно-східному (20°) напрямку до 1 км і на глибину понад 150 м. Вона складена грубозернистими і масивними агрегатами кальциту, бастнезиту, паризиту і флюориту. Вмісні діалогові сієніти лежачого боку рудного тіла фенітизовані (25–30 м). Феніти представлені альбітизованими калішпатовими породами з опалоподібним блакитним кварцом і утворюють штокверкову систему прожилків з високою (до 11 %) концентрацією ортиту. У висячому боці граносієніти перетворені на апатит-сфен-альбіт-арфведсоніт-егіринові феніти з цирконом, чевкінітом, ільменітом, магнетитом і гематитом.

Ця зона (до 10 м) перетинається прожилками титаніту (який містить 0,37 % Nb_2O_5 і 1,28 % TR_2O_3), флюориту і кальциту. У контактній висячій частині рудного тіла відзначаються облямівки флюорит-карбонат-егіринового

складу. Рудні парагенезиси представлені ранньою асоціацією флюориту, бастнезиту, паризиту, кальциту і пізньою – флюориту, галеніту, аргентиту і інших сульфідів. Ізотопний вік галеніту – 2,1–1,92 млрд р. Головні рудні мінерали – бастнезит і паризит – у зростках з кальцитом утворюють блоки і гнізда (0,6–0,8 м). Іноді вміст рідкісноземельних фторкарбонатів досягає 15–20 % при вмісті TR_2O_3 62,6 % у бастнезиті й 52,3 % – у паризиті. Руда має селективний церієвий склад. У паризиті La + Nd становлять 94,7 % і Sm + Lu – 5,3 %, а у флюориті вміст Y і важких лантанодів – 87,6 і 98,3 % від вмісту РЗЕ.

Рідкісноземельна мінералізація, пов'язана з польовошпатовими метасоматитами, відома на урановорудних полях і родовищах Кіровоградського УРР (Лозуватське, Калинівське, Південне), де розвинені як альбітні, так і натрій-фосфорні метасоматити з уранторій-ітрій-рідкісноземельною мінералізацією (малакон, циртолїт, монацит, ортит, ксенотим), а також апатитом.

Характерним рідкісноземельним об'єктом, пов'язаним з калієвим метасоматозом, є прояв **Балка Корабельна**, виявлений у 1959 р. Він представлений крутопадаючим лінзоподібним покладом інтенсивно катклазованих порід північно-східного простягання серед гранітизованих гнейсів і мігматитів, які перетинаються жилами рожевого пегматиту (до 0,5 м). Поклад завдовжки 70 м і завширшки 40 м простежено на глибину 50 м. Потужність окремих рудних тіл досягає 20 м. Вміст у руді (%): РЗЕ – до 4,4, Th – 0,6, U – до 0,2, Yb – 0,092, La – 0,177, Gd – 0,05, Er – 0,092, Dy – 0,12, Pr – 0,055, Nd – 0,197, Sm – 0,046, Ce – 0,485, Y – 0,945. Рудні тіла представлені дрібнозернистим вкрапленням і сегрегаціями монациту, ксенотиму і апатиту в крупнокристалічній породі, що складається з біотиту, польового шпату і кварцу при підпорядкованій ролі альмандину і магнетиту. Головні рудні мінерали представлені монацитом і ксенотимом, менше – апатитом і уранінітом. Основна маса рідкісноземельних фосфатів у рудних тілах приурочена до ділянок біотитової породи, яка зазнала мікроклінізації.

Рідкісноземельні фосфати, присутні в біотиті у вигляді одиночних зерен, при мікроклінізації біотиту укрупнюються й утворюють сегрегації вздовж тріщин його спайності і на контакті з мікрокліном. Монацит і ксенотим концентруються переважно в магнетиті, утворюючи в ньому зернисті агрегати й окремі кристали. В апатиті присутні включення ксенотиму і монациту неправильної форми, які, ймовірно, представляють першу генерацію рідкісноземельних фосфатів. Ксенотим містить (%): U – 1,64; Th – 0,92; La – 0,2; Ce – 0,6; Pr – 0,2; Nd – 0,7; Sm – 0,9; Eu – 0,1; Gd – 2,7; Tb – 0,5; Dy – 7,3; Ho – 2,0; Er – 6,7; Tu – 1,1; Yb – 8,5; Lu – 1,6; Y – 30. Зустрічаються монацит високоурановий (1,1 % U) і низькоурановий (близько 0,1 % U). Ізотопний вік ксенотиму і високоуранового монациту – 2045–1815 млн р.

У зв'язку з карбонатитовими і лужними комплексами УЩ відомі й інші потенційні джерела РЗЕ (Малотерсянське пірохлор-гачетолітове родовище Придніпров'я; Пержанське берилієве родовище з рідкісноземельною мінералізацією; Проскурівський і Антоновський масиви лужних порід Побужжя та ін.). Отже, навіть вже відомі родовища рідкісних металів можуть не тільки забезпечити потреби України в РЗЕ, а й бути надійним джерелом валютних надходжень за рахунок можливого експорту їх концентратів (монацит, хлориди, оксиди і фториди рідкісних земель, ксенотим та ін.).

Прикладом екзогенної рідкісноземельної мінералізації, пов'язаної з корою вивітрювання, може бути **Хашуватське родовище**, відоме з початку XX ст. як залізо-марганцеве. Воно локалізоване в корі вивітрювання ума-

нських рідкісноземельних гранітів, метасоматитів, метаморфізованих ультрамафітів, вапняно-магнезіальних скарнів, хлоритизованих і окварцованих амфіболітів та інших у межах Y-подібного зчленування Хмельницького, Тальнівського та Одеського розломів. Кора вивітрювання має значну потужність (20–100 м) і чіткий каолінітовий профіль. Найбільш потужна кора (до 100 м) зустрічається у вигляді кишень на метасоматитах екзоконтактних гранітів. Її особливість – підвищений вміст заліза аж до утворення залізних руд. Зруденіння представлене покладом (13,7 м) залізо-каолініт-гідрослюди́стих руд, серед яких РЗЕ містяться у вигляді адсорбентів на поверхні залізистих і глинистих мінералів, частково – у формі власних мінералів (черчит, рабдофаніт). Руди мають істотно ітрієвий склад (Y_2O_3 – 85 % від TR_2O_3). Черчит і рабдофаніт утворюють невеликі гнізда, ниркоподібні і складні за формою вкраплення, прошарки крупно- і дрібнозернистої, іноді сферолітової будови. Присутні також рутил, циркон, шпінель, барит, апатит. Хімічний склад покладу в корі вивітрювання метасоматитів і кальцифірів відрізняється підвищенням вмістом Fe_2O_3 (20,12 %) і MnO (1,59 %). Вилучення черчиту і рабдофаніту можливе за гравітаційною схемою.

Крім корінних родовищ, в Україні відомі великі титан-циркон-ільменітові розсипи в Житомирській області (р. Гнилоп'ять, Соб, Роставиця, Жежелівська балка) і Приазов'ї (р. Кальчик, прибережно-морські розсипи Азовського моря), які також можуть стати додатковим джерелом РЗЕ. Середній вміст монациту – від 120–144 (Волинь) до 450–900 г/т (Приазов'я).

Розвиток даного напрямку в Україні загалом може вважатися перспективним, хоча суттєвою перешкодою нині є погана розвіданість об'єктів потенційного видобутку РЗЕ. За відсутності можливості їх ранжування за об'ємами запасів та ресурсів, оскільки для багатьох об'єктів обсяги запасів і ресурсів не оцінювались або були оцінені різними способами без урахування достовірності інформациї, як основні критерії оцінки було використано ряд інших факторів, що визначають промислову цінність родовищ, зокрема:

- вміст корисних компонентів TREO (середні, мінімальні і максимальні зафіксовані значення);
- складність геологічної будови, що визначає гірничо-технічні умови видобутку;
- глибина залягання рудних тіл;
- потужність рудних тіл (прийнято, що мінімальна вимірювана технічна потужність становить 0,5 м)
- складність процесу збагачення руди (необхідність використання індивідуальних схем збагачення);
- комплексність родовища (наявність урану знижувало оцінку у зв'язку зі складністю отримання спеціального дозволу та коректної організації проведення робіт із видобутку);

- ступінь геологічного і техніко-економічного вивчення.

У табл. 2 представлено результати ранжування за бальною експертною оцінкою. У табл. 3 наведено перелік об'єктів та деякі їх кількісні параметри, за якими проведено оцінку та ранжування вітчизняних рідкісноземельних проявів та родовищ (рис. 2). Для кожної кількісної та якісної ознаки було проведено групування за сприятливістю для вивчення та освоєння ділянки надр. Було виділено від 3 до 5 груп з відповідним розподілом балів: чим більш сприятлива ознака, тим вищий бал для конкретної групи. Для проведення ранжування використано такі оціночні параметри з розподілом груп і балів:

- для оцінки рудних мінералів використано розподіл за досвідом їх збагачуваності та вилучення корисних компонентів (виділено 3 групи);

- за глибиною залягання виділено теж 3 групи (до 100 м, 100–500 м, глибше 500 м);
- за потужністю виділені об'єкти: малопотужні (перші метри), середньої потужності – до 10 м і потужні – більше 10 м;
- кількість груп складності будови відповідає кількості груп за Класифікацією запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр із розподілом балів 3 – проста будова, 2 – складна будова, 1 – дуже складна будова;

- вміст корисного компонента суми оксидів РЗЕ оцінено для 3 груп: Σ РЗЕ менше 1 %, Σ РЗЕ 1–5 %, Σ РЗЕ більше 5 %;
- ступінь вивченості оцінювався по групах, які відповідають розвіданим і попередньо розвіданим запасами та перспективним і прогнозним ресурсам згідно із Класифікацією запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр;
- комплексність оцінена за двома групами (відповідно до наявності супутніх корисних компонентів).

Таблиця 2

Ранжування вітчизняних проявів та родовищ РЗЕ за ознаками, які визначають їх промислову цінність

Родовище/прояв	Рудні мінерали	Глибина	Потужність	Складність будови	TREO	TREO min	TREO max	Ступінь вивченості	Комплексність	Σ
Тимошівський					1	1	1		1	4
Знам'янський					1	1	1		1	4
Ярівський					1	1	1		1	4
Хашуватське	1		3	1					2	7
Салтичанський комплекс	2	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Соломівська і Західнохашуватська ділянки		2	3	1	1				1	8
сс. Губник і Клебань	2		3	1	1		1	1	1	10
Луговський масив	1	1	1	1	1	1	1	1	2	10
Токівський масив	2			1	1	2	2	1	1	10
Рудопрояр Сторожовий	1	1	3	1	1	1	1	1	1	11
Майдан-Голосківське	3		3	2	1			1	1	11
Сабарівське	3		3	2	1			1	1	11
Ровський рудопрояр	3	1	3	1	1			1	1	11
Мазурівське	1	1	1	2	1	1	1	2	2	12
Покрово-Київське	3		2	1	1	1	1	1	2	12
Успенівський рудопрояр	1	2	3	1	1	1	1	1	1	12
Краснянське поле			2	1	2	2	3	1	1	12
Малоянісольський	3	3		1	1	1	1	1	1	12
Азовський шток (кори вивітрювання)	1		3	1	1	1	2	1	2	12
Катеринівський	3	3		1	1	1	1	1	1	12
Миколаївське	3	1	3	2	1			1	1	12
Петрово-Гнутаївське	3	2	2	1	2			1	2	13
Мало-Янісольська	3	3			2	1	3	1	1	14
Темрюцька	3	3			2	1	3	1	1	14
Василівська	3	3			2	1	3	1	1	14
Портова	3	3				3	3	1	1	14
Буденівська	3	3				3	3	1	1	14
Пержанський рудний вузол	2	1	1	1	1	2	3	1	2	14
Яструбецький	2		1	2		2	3	2	2	14
група рудопроярів Балка Корабельна	3	3	3	2	1		2		2	16
Новополтавське	1	2	3	2	1	1	2	3	2	17
Азовське	1	2	3	2	2	1	2	2	2	17
Анадольське	1	1	2	2	3	1	3	2	2	17

Таблиця 3

Кількісні параметри, за якими проведено оцінку та ранжування рідкісноземельних проявів та родовищ

Корисні компоненти	Родовище/прояв	Рудні мінерали	Глибина, м	Потужність, м	РЗЕ	РЗЕ min	РЗЕ max
Приазовська металогенічна область							
Західноприазовський рудний район							
РЗЕ	Чернігівський комплекс, Новополтавське родовище	ферросоніт, монацит, бастнезит, ортит				0,17	4,6
РЗЕ, CaF ₂	Покрово-Київське	ксенотим		1,5	0,6	0,5	0,8
РЗЕ	Успенівський рудопрояр	ксенотим, циртолїт, уранініт	92	0–59		0,03	0,11
Східне Приазов'я							
РЗЕ, Zr	Азовське	бритолїт, бастнезит, ортит, циркон, монацит, чевкінїт	до 300		1,27		
Ta, Nb, Zr, РЗЕ	Мазурівське	бритолїт, циркон, чевкінїт			0,3		
РЗЕ, Fe, Mn	Анадольське	ортит, церит, бастнезит	500	0,7–3,0	9,23	0,1	16,7
РЗЕ, Nb	Петрово-Гнутаївське	бастнезит, паризит	150	0,5–3,0	1,28		
РЗЕ	Краснянське поле			0,3–3,0	2,0	1,14	6,1

Закінчення табл. 3

P3E	Рудопрояр Сторожовий	монацит, чевкініт, бритоліт, бастнезит	250	3–20			
P3E	Салтичанський комплекс	ортит					
Розсипи, у т.ч. ділянки							
P3E	Катеринівська	ксенотим, монацит					
P3E	Малоянісольська	монацит					
P3E, Zr	Кори вивітрювання Азовського штоку	рабдофаніт, черчит		до 20		0,5	1,21
Інші розсипи Приазовського району, у т.ч. ділянки							
P3E	Мало-Янісольська	монацит			54,6	50	58
P3E	Темрюцька	монацит			54,6	50	58
P3E	Василівська	монацит			54,6	50	58
P3E	Портова	монацит, циркон				53	56
P3E	Буденівська	монацит, циркон				53	56
Хмільницько-Вінницька група							
P3E	Миколаївське	монацит, циркон, ксенотим		0,5–30,0			
P3E	Майдан-Голосківське	монацит		0,5–15,0			
P3E	Сабарівське	циркон-монацит		35–100			
P3E	с. Губник і Клебань	ортит		2–16			19
P3E	Ровський рудопрояр	монацит	225	4–30			
Волинська металогенічна область							
P3E, F, Pb, Y	Пержанський рудний вузол	циркон, бритоліт				4	9
P3E, Y	Луговський масив	циртоліт					
P3E, CaF2	Яструбецький масив	циркон, бритоліт		10–20 см		1,24	50,2
Підніпровська металогенічна область							
P3E	Токівський масив	ортит				3	5
Побузький район							
U, P3E	Лозоватське						
U, P3E	Калинівське						
U, P3E	Південне						
U, Th, Y, P3E	Балка Корабельна	монацит, ксенотим	50	20	2		4,4
P3E	Соломівська та Західно-хашуватська ділянки		100	14	0,24		
P3E, Fe, Mn	Хашуватське	черчит, рабдофаніт,		13,7			
Корсунь-Новомиргородський плутон							
P3E	Тимошівський				0,2	0,14	0,4
P3E	Знам'янський				0,2	0,14	0,4
P3E	Ярівський				0,2	0,14	0,4

Σ сума балів

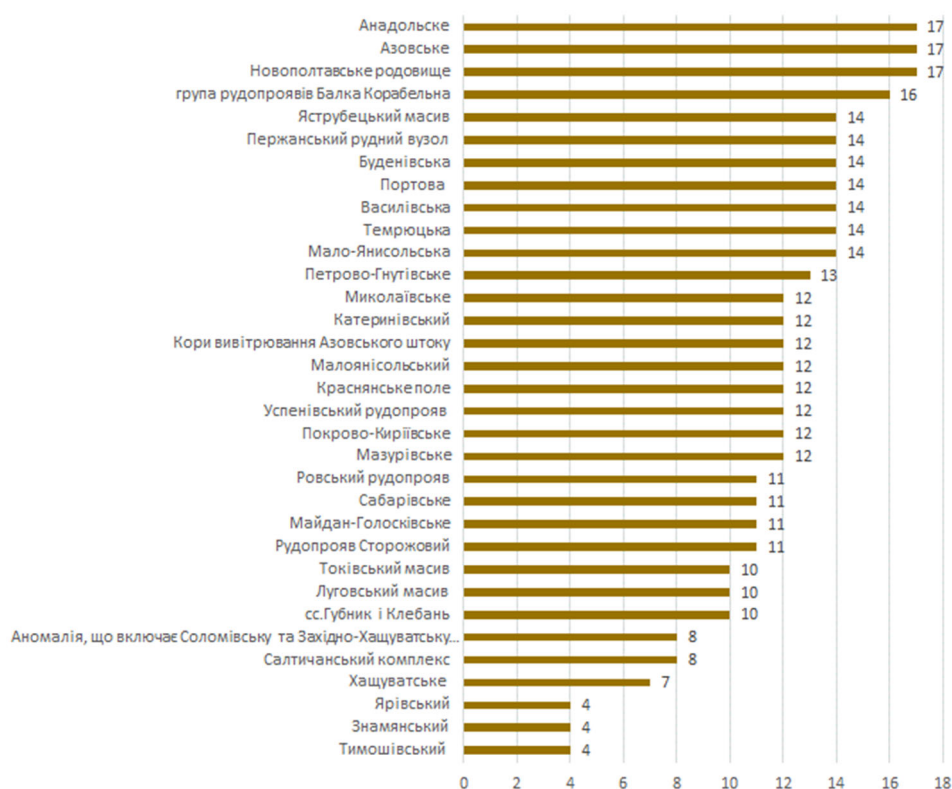


Рис. 2. Результати бальної оцінки факторів, які визначають промислову цінність родовищ

Висновки. За результатами проведеного ранжування вітчизняних родовищ та проявів РЗЕ можна виділити групу об'єктів з максимальною кількістю балів, які є найбільш інвестиційно привабливими для подальшого промислового освоєння. Це група із сумою балів 15–17: родовища Новополтавське, Анадольське, Азовське та група рудопоявів Балка Корабельна. Треба відзначити, що перші три характеризуються найвищим ступенем геологічної та техніко-економічної вивченості, а на перші два об'єкти надані спеціальні дозволи на видобування. Останній об'єкт цієї групи відзначається високими якісними параметрами, але потребує довищення і підрахунку запасів із технологічним і гірничо-технічним обґрунтуванням кондицій.

Наступну групу з оцінкою 11–14 балів можна рекомендувати як можливі об'єкти інвестування із врахуванням геологічних, технологічних ризиків їх освоєння, що зумовлено або низьким ступенем вивченості, недостатніми якісними показниками (порівняно з іншими відомими об'єктами) або технологічними факторами.

Враховуючи безсумнівний економічний пріоритет широкомасштабного використання РЗЕ в сучасному світі, подальші перспективи в Україні тісно пов'язані з активними пошуковими та розвідувальними роботами, зокрема в межах Українського щита.

Для першочергового геологічного і технологічного вивчення найбільший інтерес нині становить група рудопоявів Балка Корабельна, а також розсипи Приазовського району, зокрема Мало-Янисольська, Темрюцька та Василівська ділянки, що зумовлюється суттєвими вмістами РЗЕ, низьким рівнем складності процесу збагачення рудних мінералів, простими гірничодобувними умовами.

Список використаних джерел

- Гурський, Д.С. (2008). Концептуальні засади державної мінерально-сировинної політики щодо використання стратегічно важливих для економіки країни корисних копалин. Львів: ЗУКЦ.
- Гурський, Д.С., Єсіпчук, К.Ю., Калінін, В.І. та ін. (2006). Металічні і неметалічні корисні копалини України. Том I. Металічні корисні копалини. Київ-Львів: "Центр Європи".
- Загнітко, В., Михайлов, В., Кривдік, С., Сидорчук, В. (2017). Генетичні особливості та ресурси рідкісних металевих родовищ Українського щита. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1 (76), 58–65.
- Михайлов, В.А., Шевченко, В.І., Огар, В.В. та ін. (2007). Металічні корисні копалини України. Підручник. К.: "Київ. ун-т".
- Михайлов, В.А. (2010). Редкоземельные руды мира: геология, ресурсы, экономика. К.: "Київ. ун-т".
- Михайлов, В., Загнітко, В., Курило, М. (2017). Перспективи інвестицій в мінерально-сировинний комплекс України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1 (76), 47–51.
- Михайлов, В.А., Курило, М.М. (2017). Оцінка інвестиційної привабливості об'єктів мінерально-сировинної бази України. *Мат-ли IV науково-практичної конференції "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"*, Трускавець, 6–10 листопада 2017 р., 135–139.

V. Mykhailov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: vladvam@gmail.com;
M. Kurilo, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua;
S. Kosharna, Cand. Sci. (Geol.),
E-mail: sofia.kosharna@ukr.net;
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasilkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

GEOLOGICAL INDUSTRIAL ASSESSMENT AND RANKING OF PROMISING OBJECTS OF THE DOMESTIC BASE OF RARE EARTH ELEMENTS

Changes in the priority areas of financing in the field of subsurface use and their widespread reorientation to the search for alternative sources of raw materials which could ensure the development of modern high-tech industries are the promising direction for the country's growth in sustainable development conditions and Green Energy Transition. And at the moment the only resource that can ensure safe progress in the future and plays an important role in today's technological development is rare earth elements (REE).

Within the framework of this study information on the current state of awareness about the REE mining prospects in Ukraine was analyzed and generalized; the systematization and updating of available data on quantitative and qualitative REE ore occurrences and deposits characteristics and their geological and industrial parameters was done; the main obstacles / barriers to the active mining development on these objects of potential extraction were identified. The obtained ranking results of domestic deposits and REE manifestations prove the expediency of investing in geological exploration and mining operations conducted in certain areas, which are identified as the most attractive for further industrial development and generally emphasize the prospects of the studied area and justify the need in intensification of selected rare earth objects field development.

Keywords: rare earth elements, deposits of geological and industrial parameters, rare earth mineralization, industrial value of deposits, explored objects.

Мицкевич, Е.Ф., Беспалько, Н.А., Егоров, О.С. и др. (1986). Редкие элементы Украинского щита. К.: Наук. думка.

Мінеральні ресурси України. (2017). К.: ДНВП "Державний інформаційний геологічний фонд України".

Стан запасів корисних копалин. (н.д.). Отримано з <http://minerals-ua.info/stan-zapasiv.php>

Chao, E.C.T., Back, J.M., Minkin, J.A. et al. (1997). The Sedimentary Carbonate-Hosted Giant Bayan Obo REE-Fe-Nb Ore Deposit of Inner Mongolia, China: A Cornerstone Example for Giant Polymetallic Ore Deposits of Hydrothermal Origin. *USGS Bulletin*, 2143. Отримано з <http://pubs.usgs.gov/bul/b2143/intro.html>

Melnikov, V.S., Kulchitskaya, A.A., Kryvdik, S.G. et al. (2000). The Azov Deposit – a New Type of Rare-Metal Objects of Ukraine. *Miner. Jour. (Ukraine)*, 22, 5/6, 39–49.

Rare Earth. Minerals Yearbook. Metals and minerals Mineral commodity summaries. (2020). Vol. I. Wash.: USGS. P. 132–133.

Smith, M., Wu, C. (2000). The Geology and Genesis of the Bayan Obo Fe-REE-Nb Deposit: A Review. <http://www.portergeo.com.au/feoxbook/purchase.asp> *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*. Adelaide: PGC Publishing, 1, 271–281.

References

Chao, E.C.T., Back, J.M., Minkin, J.A. et al. (1997). The Sedimentary Carbonate-Hosted Giant Bayan Obo REE-Fe-Nb Ore Deposit of Inner Mongolia, China: A Cornerstone Example for Giant Polymetallic Ore Deposits of Hydrothermal Origin. *USGS Bulletin*, 2143. Retrieved from <http://pubs.usgs.gov/bul/b2143/intro.html>

Hurskyi, D. (2008). Conceptual principles of the state mineral resources policy on the use of strategically important minerals for the country's economy. Lviv: ZUKC. [in Ukrainian]

Hurskyi, D., Yesypchuk, K., Kalinin, V. et al. (2005). Metallic and non-metallic minerals of Ukraine. Vol. I. Metallic minerals of Ukraine. Lviv: Center of Europe Press. [in Ukrainian]

Melnikov, V.S., Kulchitskaya, A.A., Kryvdik, S.G. et al. (2000). The Azov Deposit – a New Type of Rare-Metal Objects of Ukraine. *Miner. Jour. (Ukraine)*, 22, 5/6, 39–49.

Mineral Resources of Ukraine. (2017). Kyiv: SRDE "Geoinform Ukraine". [in Ukrainian]

Mitskiewicz, E.F., Bepalko, N.A., Egorov, O.S. et al. (1986). Rare elements of the Ukrainian shield. K.: Nauk. Dumka. [in Russian]

Mykhailov, V. (2010) World rare earth ores: geology, resources, economics. K.: Kyiv University. [in Russian]

Mykhailov, V., Kurylo, M. (2017). Investment attractiveness estimation of objects of mineral resource base of Ukraine. *Materials of the IV scientific-practical conference "Subsoil use in Ukraine. Investment Prospects"*, Truskavets, November 6–10, 2017, 135–139. [in Ukrainian]

Mykhailov, V., Shevchenko, V., Ogar, V. et al. (2007). Metallic minerals of Ukraine. Textbook. K.: Kyiv University. [in Ukrainian]

Mykhailov, V., Zagnitko, V., Kurylo, M. (2017). Prospects for investment in the mineral resources sector of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1 (76), 47–51. [in Ukrainian]

Rare Earth. Minerals Yearbook. Metals and minerals. Mineral commodity summaries. (2020). Vol. I. Wash.: USGS. P. 132–133.

Smith, M., Wu, C. (2000). The Geology and Genesis of the Bayan Obo Fe-REE-Nb Deposit: A Review. <http://www.portergeo.com.au/feoxbook/purchase.asp> *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*. Adelaide: PGC Publishing, 1, 271–281.

The state of mineral reserves. (n.d.). Retrieved from <http://minerals-ua.info/stan-zapasiv.php>

Zagnitko, V., Mykhailov, V., Kryvdik, S., Sidorchuk, V. (2017). Genetic features and resources of rare metal deposits of the Ukrainian Shield. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1 (76), 58–65.

Надійшла до редколегії 02.02.21

В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.,

E-mail: vladvat@gmail.com;

М. Курило, канд. геол. наук, доц.,

E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua;

С Кошарна, канд. геол. наук,

E-mail: sofia.kosharna@ukr.net;

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

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

ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА И РАНЖИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ БАЗЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Изменения приоритетных направлений финансирования в сфере недропользования и их повсеместная переориентация на поиск альтернативных источников сырья, которые могли бы обеспечить развитие современных высокотехнологичных производств, является многообещающим направлением роста страны в условиях устойчивого развития и перехода на Green Energy Transition. На сегодняшний день тем самым ресурсом, который может обеспечить безопасный прогресс в будущем и играет важную роль в технологическом развитии сегодня, являются редкоземельные элементы (РЗЭ).

В рамках исследования проанализирована и обобщена информация о современном состоянии осведомленности относительно перспектив добычи РЗЭ в Украине; проведена систематизация и актуализация имеющихся данных о количественных и качественных характеристиках рудопроявлений и месторождений РЗЭ и их геолого-промышленных параметров; определены основные препятствия для активного развития работ на объектах потенциальной добычи. Полученные результаты выполненного ранжирования отечественных месторождений и проявлений РЗЭ доказывают целесообразность инвестирования работ в сфере геологических изысканий и реализации добычи на отдельных участках, которые определены, как наиболее инвестиционно привлекательные для последующего промышленного освоения и в целом подчеркивают перспективы исследуемого направления и обосновывают необходимость интенсификации разработки выделенных объектов редкоземельного сырья.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, геолого-промышленные параметры месторождений, редкоземельная минерализация, промышленная ценность месторождений, разведанность объектов.

УДК 553.3/4

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.05>

М. Мансуров, канд. геол.-минералог. наук, доц.,
E-mail: matoy_mansurov@mail.ru;
Бакинский государственный университет,
ул. 3. Халилова, 23, г. Баку, AZ1148, Азербайджан

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОШКАРЧАЙСКОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МАЛЫЙ КAVKAZ, АЗЕРБАЙДЖАН)

(Представлено членом редакционной коллегии д-ром геол.-мин. наук, проф. В.М. Загитом)

Рассматриваются особенности размещения и условия формирования Кошкарчайского медно-порфирового месторождения Муровдагского рудного района. Выявлены основные факторы концентрирования медно-порфирового оруденения в породах габбро-диорит-гранодиоритовой формации. Установлено, что структура рудного района сформировалась в результате последовательной смены нескольких этапов деформаций, сопровождающихся образованием трещиноватости в интрузивном массиве, внедрением даек, перемещением блоков по тектоническим разрывным нарушениям и выполнением трещин различными минеральными ассоциациями. Выяснено, что медно-порфировое оруденение сопряжено с широким ореолом гидротермально-измененных пород, часто с достаточно четкой рудно-метасоматической зональностью. Обобщенная колонка метасоматической зональности в масштабах рудного района и месторождений выражена в последовательной смене следующих метасоматических зон: кварцевая → калишпатовая → кварц-серицитовая → аргиллизитовая → пропилитовая. Основываясь на структурно-морфологических особенностях, можно сказать, что оруденение на месторождении Кошкарчай – штокерково-прожилковое вкрапленного типа, в котором вкрапленности преобладают над прожилками и жилами. Главным полезным компонентом является медь. Содержание ее в пределах штокеркового тела неустойчиво и колеблется в широком диапазоне – от 0,2 до 2,5 %, составляя в среднем 0,41 %. Из ряда рудных полезных ископаемых, существенно влияющих на значимость месторождения, следует отметить молибден и благородные металлы. В некоторых интервалах среднее содержание золота составляет 2,0 г/т и более. Наряду с золотом установлено также повышенное содержание серебра, где его значение достигает 30–45 г/т, что может положительно влиять на общую ценность месторождения.

По результатам факторного анализа данных скважин выявлены геохимические ассоциации, позволяющие локализовать области развития минерализации различных стадий формирования порфирово-эпitherмальной системы. Значения фактора Ф1 коррелируют с количеством халькопирита, борнита и пирита, что дает основание связать геохимическую ассоциацию Cu (Mo, Pb, Sb) с наиболее ранней халькопирит-борнит-пиритовой минерализацией порфирового этапа формирования рудноносной структуры. Значения фактора Ф2, отвечающие ассоциации Mo (Cu, Pb, Co), статистически связаны с содержанием халькопирита и молибденита, образующих основной минеральный парагенезис медь-молибден-порфирового оруденения. Проведенные исследования включений в кварце руд пирит-халькопиритовой, галенит-сфалерит-халькопиритовой стадий, термобарохимическими методами позволяют характеризовать флюидный режим процессов рудообразования данного месторождения. Рудообразующие гидротермальные растворы, по данным изучения флюидных включений, были хлоридно-натриевого типа, а концентрации солей варьировали от 20 до 30 мас. %-экв. NaCl. Рудные компоненты переносились этими растворами в форме комплексных ионов, содержащих хлориды Na и K, и реже сульфаты и карбонаты. Рудообразование происходило в интервале 350–200 °С. Каждому типу минерализации соответствует вполне определенный диапазон физико-химических параметров и химического состава рудообразующего флюида. Полученные результаты позволили установить температуры гомогенизации включений и оценить температуры флюидов во время образования руд каждой стадии, а также определить концентрации основных солевых компонентов. Комплексность объектов свидетельствует о высокой перспективности медно-порфировых площадей и выделенных на них участков в ранге потенциальных рудных полей.

Ключевые слова: Кошкарчай, медно-порфир, гидротермально-метасоматические изменения, геохимические, флюидные включения, условия формирования, генетические особенности.

Введение. Медно-порфировые месторождения относятся к числу главных источников Cu, Mo, а также Au, Ag, Sn при сопутствующих Re, W, In, Pt, Pd и Se. На их долю приходится от 50 до 60 % мирового производства меди и более 95 % мирового производства Mo. Закономерности размещения и условия формирования медно-порфировых месторождений изучались многими исследователями. Многочисленные исследования таких месторождений направлены, прежде всего, на выявление особенностей их формирования в разных геодинамических обстановках, создание описательных и генетических моделей как основы действенного прогноза, поисков и оценки территорий с экономически важными минеральными месторождениями (Бортников и др., 2012; Волков и др., 2018; Наумов и др., 2016; Попов, 1977; Сафонов и др., 2006; Тутли и Бин, 1984; Hedenquist and Richards, 1998; Kerrich et al., 2000; 2010; Lang and Baker, 2001; Meinert et al., 2003; Sillitoe, 2000; Sillitoe and Hart, 1984 и др.).

Муровдаг является одним из наиболее перспективных рудных районов Малокавказского горно-складчатого сооружения и характеризуется наличием ряда месторождений и рудопоявлений, перспективных на медь, молибден, золото, свинец, цинк и другие полезные ископаемые. Здесь же располагаются несколько месторождений и рудопоявлений медно-порфирового

типа, в которых ресурсы медных руд могут быть отнесены к разряду крупных месторождений. Наиболее изученным является Кошкарчайское месторождение, где проводились разведочные работы, что позволило выделить его как весьма перспективное.

Фактические материал и методы исследования. Основу фактического материала составила коллекция образцов (около 150 штук), отобранная внутри и вокруг штокерка с прожилково-вкрапленной минерализацией и на его фланге до глубины более 500 м от дневной поверхности. В коллекцию вошли образцы, собранные из габброидов, кварцевых диоритов, кварцевых жил с галенит-сфалерит-халькопиритовой минерализацией. Из образцов изготавливались петрографические шлифы и полированные с двух сторон пластинки для исследования флюидных включений, а остальную часть этих образцов дробили и рассеивали на ситах. Атомно-абсорбционный анализ на приборе компании Perkin Elmer позволил количественно определить такие элементы, как Cu, Mo, Cr, Ni, Co, Pb, Zn, Sr, As, Bi. Геохимические данные по скважинам были обработаны в программе STATISTIKA методом факторного анализа главных компонентов (Белонин и др., 1982; Боровиков, 2013). Образцы пород исследовались методом масс-спектропии с индуктивно-связанной плазмой (ISP-MS). Силикатный химический анализ проведен в лаборатории Университета

© Мансуров М., 2021

Измир, Турция. Термобарогеохимические анализы газовой-жидких включений кварца разных генераций выполнялись с помощью современных высокоточных методов в аналитической лаборатории USGS Геологической службы США (г. Денвер).

Особенности геологического строения месторождения. Особенности геологического строения Кошкарчайского медно-порфирового месторождения подробно изложены в ранее опубликованных работах (Абдуллаев и др., 1988; Баба-заде и др. 1990; Геология Азербайджана, 2003, 2005; Мансуров, 2014).

Муровдагский рудный район, куда входит Кошкарчайское месторождение, являясь составной частью Лок-Карабахской палеоостровной дуги (рис. 1), занимает СЗ приподнятую часть Муровдагского антиклинория асси-

метричного строения, сложенного породами нижнебайосской вулканогенной толщи в ядре, и верхнебайосской и батской толщами базальт-андезит-риолитовой, последовательно дифференцированной формации, на крыльях. Интрузивным составляющим рудного района являются Кошкарчайский комплекс гранитоидных интрузий (Кошкардагская, Оджагдагская, Балладжа Кошкардагская) и их дайковые образования, которые прорывают мощный комплекс эффузивно-пирокластических образований, оказывая на них контактное воздействие. Интрузивные комплексы с медно-порфировым оруденением по геолого-петрологическим особенностям принадлежат к габбро-диорит-гранодиоритовой формации позднеюрско-раннемелового возраста (Абдуллаев и др., 1988; Геология Азербайджана, 2003).

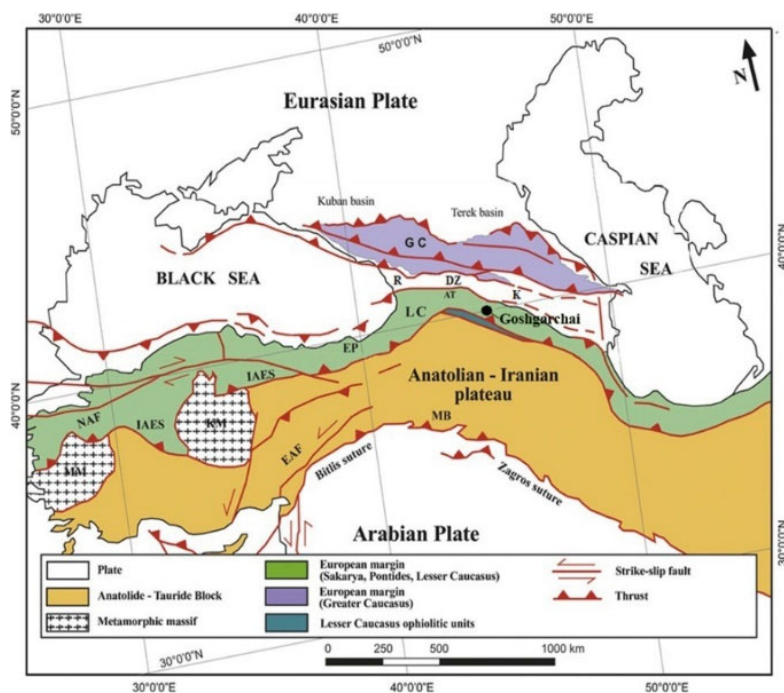


Рис. 1. Тектоническая карта зоны столкновения Аравийско-Евразийских коллизионных зон:

• – местонахождение месторождения Кошкарчай. Сокращения: GC–Большой Кавказ; LC–Малый Кавказ; AT–Ачара-Триалети; R–Риони; DZ–Дзирула; K–Кура; MB–бассейн Муса; EP–Восточные Понтиды; KM–массив Киршехир; EAF–Восточный Анатолийский разлом; NAF–Северо-Анатолийский разлом; IAES–Измир-Анкара-Эрзинджанский шов; MM–Массив Мендерес

В рудном районе медно-порфировое оруденение охватывает Кошкарчайское, Кошкардагское, Кызылархачское, Кечалдагское, Ерик-Манукское и другие месторождения и рудопроявления, где оно находится в тесной пространственной и генетической связи с Муровдагскими гранитоидными массивами (Абдуллаев и др., 1988; Баба-заде и др., 1990). По геологическому положению и пространственному размещению интрузивные образования Муровдагской группы разделены на Кошкардагскую и Кызылархачскую группы (Геология Азербайджана, 2003).

Пластовые тела Кызылархачского участка представлены преимущественно кварцевыми диоритами, габбро-диоритами и незначительно диоритами, габбро, банатитами. С приближением к эндоконтакту породы приобретают более основной характер. Габбро-нориты среднезернистые почти черные породы, состоящие из плагиоклаза, пироксенов, небольшого количества биотита, роговой обманки, оливина, а также вторичных и акцессорных минералов. Кварцевые диориты мелко среднезернистые, полнокристаллические породы, представленные, главным образом, плагиоклазами, роговой обманкой, биотитом, кварцем, иногда с примесью

пироксена, калишпата и альбита (Абдуллаев и др., 1988; Геология Азербайджана, 2003).

Химический и нормативный минеральный состав пород этих массивов с важнейшими петрохимическими характеристиками приведен в табл. 1.

Породы на классификационной диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ занимают поле пород нормальной щелочности, что позволяет отнести их к нормальному петрохимическому ряду (рис. 2). Описываемые классификационные диаграммы породы в основном сосредоточены в габброидных полях. Из диаграммы видно, что они компактно расположены. Другие петрографические типы пород или дифференциаты расположены в полях кварцевых диоритов, и здесь по нормативному минералогическому составу содержание альбитов намного повышается, в соответствии с этим немного уменьшается содержание основных плагиоклазов (Геология Азербайджана, 2003).

Структура рудного района сформировалась в результате последовательной смены нескольких этапов деформаций, сопровождающихся образованием трещиноватости в интрузивном массиве, внедрением даек, перемещением блоков по тектоническим ра-

зрывным нарушениям и выполнением трещин различными минеральными ассоциациями. Непосредственно рудоподводящими являются субширотная или общекавказская ориентировка нарушений, а разрывы СВ простирания, оперяющие Гошгарчайский разлом со стороны его висячего бока, являются рудолокализирующими структурами, что объясняется: 1) расположением рудных зон в

лежачем боку; 2) одинаковым направлением падения рудных зон и разломов при более крутых углах последних; 3) локализацией рудных зон преимущественно в мелких системах трещин и нарушениях локального значения; 4) приуроченностью к главным разломам субвулканических тел и даек, зон интенсивных гидротермальных изменений пород и вкрапленной сульфидной минерализации (Геология Азербайджана, 2005).

Таблица 1

Химический состав пород магматических комплексов Муровдагского антиклинария

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	48.17	50.91	51.05	51.6	53.18	52.51	52.16	51.85
TiO ₂	0.54	0.5	0.46	1.03	0.37	1.47	0.45	1.69
Al ₂ O ₃	19.62	17.77	19.1	16.88	16.49	17.88	21.87	17.46
Fe ₂ O ₃	10.25	3.8	3.45	3.76	5.75	2.86	3.15	4.46
FeO	3.05	5.5	5.01	4.43	5.08	5.06	4.85	4.82
MnO	0.12	0.1	0.13	0.08	0.09	0.04	0	0.12
MgO	3.42	6.02	5.7	5.4	4.2	3.92	3.44	5.01
CaO	12.13	10	9.22	10.78	9.64	9.49	5.4	8.03
Na ₂ O	2.26	2.55	3.43	3.64	4.52	3.44	4.54	3.73
K ₂ O	0.78	0.7	0.4	0.6	0.56	0.75	2.88	0.71
P ₂ O ₅	0	0	0.04	0	0	0	0	0
l	0.43	2.07	1.06	2.11	0.61	2.36	1.65	2.04
Σ	100.8	99.92	99.05	100.3	100.5	99.78	100.4	99.92

	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	51.36	50.58	50.47	49.93	48.95	48.28	54.39	58.19	56.6	58.04	60.29	62.34
TiO ₂	0.28	0.63	0.3	0.5	0.29	0.4	0.65	0.65	0.47	0.1	0.42	0.24
Al ₂ O ₃	16.56	12.38	18.16	12.99	16.67	21.79	14.38	18.23	16.51	15	15.62	13.84
Fe ₂ O ₃	7.19	10.5	5.06	7.51	9.19	5.39	6.76	2.24	2.5	5.67	3.36	4.41
FeO	6.22	7.42	4.62	8.89	4.36	3.61	5.05	2.64	4.95	4.09	3.72	2.72
MnO	0.11	0.14	0.05	0.13	0.1	0.08	0.05	0.1	0.14	0	0.05	0
MgO	2.81	3.97	5.41	3.35	5.05	4.01	5.04	3.68	4.7	2.3	2.8	3.1
CaO	10.32	9.62	7.14	10.54	10.65	6.12	6.96	7.14	7.1	6.94	5.36	8.66
Na ₂ O	3.35	3.11	3.42	4.07	2.72	3.89	2.29	3.97	3.2	3.3	3.47	6.2
K ₂ O	0.37	0.73	0.89	0.6	0.59	1.89	1	1.22	1.12	1.83	1.32	0.49
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0	0	0
l	2.21	1.74	4.01	2.05	1.28	4.27	3.1	1.31	2.2	3.03	2.3	0.87
Σ	100.8	100.8	99.53	100.6	99.85	99.73	99.67	99.37	99.58	100.3	98.71	102.9

	21	22	23	24	25	26	27	28	29
SiO ₂	68.62	67.63	67.96	67.8	66.4	69.65	68.26	67.48	73.11
TiO ₂	0.2	0.55	0.26	0.25	0.28	0.38	0.38	0.38	0.38
Al ₂ O ₃	16.33	15.37	15.11	16.81	16.99	14.5	14.64	14.9	13.15
Fe ₂ O ₃	1.95	2.02	2.29	2.27	2.22	1.74	1.8	1.69	2.16
FeO	2.53	2.57	1.46	1.99	1.76	1.55	1.29	1.87	0.97
MnO	0.1	0.1	0.06	0.01	0.08	0.08	0.05	0.06	0.05
MgO	0	1.05	1.76	1.79	2.42	1.72	1.88	2.69	1.65
CaO	4	3.53	5.15	3.6	4.28	5.1	4.82	4.21	0.81
Na ₂ O	3.65	3.66	3.29	2.61	3.45	2.97	3.45	3.37	6.02
K ₂ O	2.18	2.49	1.38	1.48	1.73	1.26	1.64	2.69	0.6
P ₂ O ₅	0	0	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08
l	0.55	0.75	0.99	1.04	0.94	0.71	0.98	0.89	0.69
Σ	100.1	99.72	99.78	99.73	100.6	99.73	99.27	100.3	99.67

Примечание: 1–4 – габбро-нориты, 5–8 – габброиды, 9–14 – габбро, 15–20 – кварцевые диориты, 21–25 – дациты, 26–28 – риодациты, 29 – риолиты.

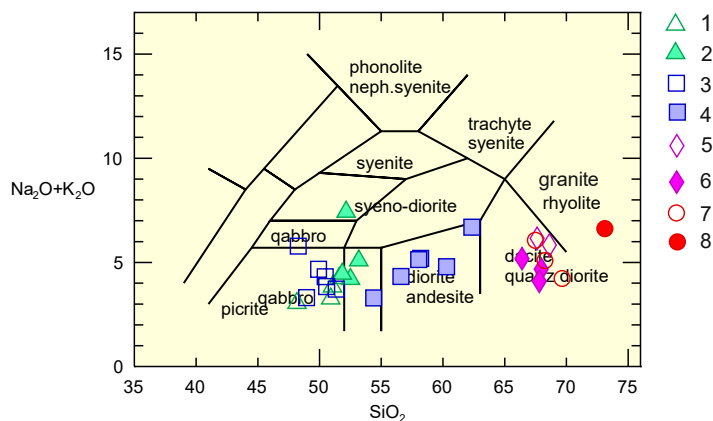


Рис. 2. Положение пород магматических комплексов на классификационной диаграмме $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$ Муровдагского антиклинория:

1 – габбро-нориты, 2 – габброиды, 3 – габбро, 4 – кварцевые диориты, 5 – гранодиориты, 6 – дациты, 7 – риодациты, 8 – риолиты Кошкарчайское месторождение расположено у слияния рр. Беюк Кошкарчай и Баладжа Кошкарчай в 10–12 км к юго-западу от с. Хошбулаг. В геологическом строении Кошкарчайского месторождения принимают участие нижнебайосские вулканогенные, вулканогенно-приокластические образования основного и среднего состава, принадлежащие к андезит-базальтовой субформации последовательно дифференцированной базальт-андезит-риолитовой формации (рис. 3). Сложено оно в основном байосскими вулканогенными образованиями, прорванными гранитоидами Кошкарчайского массива (Геология Азербайджана, 2003).

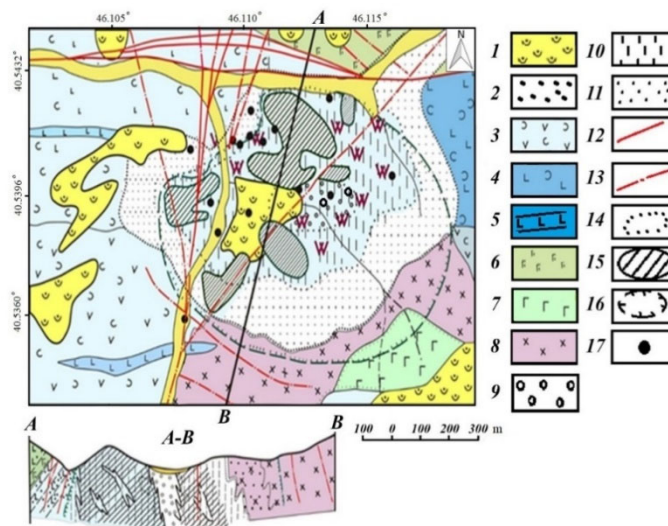


Рис.3. Геологическая карта Кошкарчайского месторождения медно-порфировых руд (Баба-заде и др., 1990):

1 – современные элювиально-делювиальные отложения; 2 – аллювиальные, пролювиальные отложения; 3 – андезиты и их туфы; 4 – диабазы и их туфы; 5 – дайки диабазовых порфиров; 6 – пластовые тела габбро, габбро-пироксенитов; 7 – габбро, габбро-диориты; 8 – диориты, кварцевые диориты; 9–11 – фации вторичных кварцитов (9 – монокварцевая, 10 – кварц-серицитовая, 11 – пропиловитовая (хлоритизированные, окварцованные, кальцитизированные, эпидотизированные и пиритизированные породы с прожилково-вкрапленной рудной минерализацией)); 12, 13 – разрывные нарушения (12 – региональные рудоконтролирующие, 13 – прочие); 14 – границы фации вторичных кварцитов; 15 – контуры медно-порфировых рудных тел с промышленным содержанием на поверхности; 16 – ореолы распространения медно-порфировых руд; 17 – буровые скважины

Структурно-морфологические особенности и минеральный состав месторождения. На месторождении преимущественно развиты прожилково-вкрапленные штокверковые руды. Жильный тип оруденения имеет подчиненное значение и приурочен к зонам дробления и зонам гидротермального изменения среди диабазовых порфиров. Названный тип оруденения представлен кварцевыми и карбонатными жилами и прожилками, импрегнированным пиритом, халькопиритом и молибденитом.

Штокверковое тело, слагающее центральную часть Кошкарчайского месторождения, приурочено к апикальной и периферийной частям одноименного интрузива, точнее к его эндо- и экзоконтактной полосе, и в субширотном направлении занимает площадь около 0,8 км².

В пределах штокверка на поверхности прибортовое содержание меди составляет 0,4 %, и выделено 10 рудных столбов. Интерпретация результатов анализа керновых материалов позволяет рассматривать эти обогащенные участки как сливающиеся на глубине в единое рудное тело, образующее штокверк со сложной морфологией. Особенно сложной является поверхность штокверкового тела. В штокверке развиты трещины северо-западного (280–320°), субмеридионального (345–10°) и субширотного направлений, заполненные безрудным и кварц-сульфидным веществом (Баба-заде и др., 1990). Жилы, представленные кварц-карбонатными заполнителями, имеют субширотное простирание. Они приурочены к зонам дробления мощностью 30–60 м среди диабазовых порфиров.

Наиболее интенсивная рудная минерализация наблюдается в центральной части штокверка, которая по

мере удаления от центра к краевым частям постепенно затухает. Контуры рудного тела извилистые и конформные в отношении морфологии рудогенерирующего порфирового интрузива. Соответственно, этим рудное тело аналогично интрузиву и имеет юго-западного склонение.

Главным полезным компонентом является медь. Содержание ее в пределах штокверкового тела неустойчиво и колеблется в широком диапазоне – от 0,2 до 2,5 %, составляя в среднем 0,41 %. Из ряда рудных полезных ископаемых, существенно влияющих на значимость месторождения, следует отметить молибден и благородные металлы. В некоторых интервалах среднее содержание золота составляет 2,0 г/т и более. Наряду с золотом установлено также повышенное содержание серебра, где его значение достигает 30–45 г/т, что может положительно влиять на общую ценность месторождения.

Основываясь на структурно-морфологических особенностях можно сказать, что оруденение на месторождении Кошкарчай – штокверково-прожилковое вкрапленного типа, в котором вкрапленности преобладают над прожилками и жилами.

В месторождениях минеральный состав руд не отличается большим разнообразием и характеризуется в основном мелкими размерами рудных минералов, их тесными срастаниями. В результате изучения полированных шлифов в рудах были определены следующие рудные минералы: пирит, халькопирит, сфалерит, арсенипирит, мельникит – пирит, марказит-пирит, марказит, блеклая руда, кобальт-пирит, энаргит, галенит,

кобальтин, молибденит, висмутин, борнит, ильменит, гематит, хромшпинелиит, халькозин, ковеллин, малахит, азурит, лимонит и др. Из них главными рудными минералами месторождения являются халькопирит, борнит, пирит, молибденит, тенантит, халькозин, энаргит, самородная медь, золото и рутил. Жильные минералы представлены кварцем, кальцитом, эпидотом, каолинитом, серицитом, хлоритом, биотитом, мусковитом и др. (Баба-заде и др., 1990; Монгуш и Лебедев, 2013; Мансуров, 2014).

Результаты исследования и их обсуждение. *Рудно-метасоматическая зональность.* Изучение многих месторождений, особенно гидротермального происхождения, показывает, что проявление зональности минералов и химических элементов в рудных телах неразрывно связано с зональностью окорудных метасоматитов (Омельяненко, 1978). Характерными в этом отношении являются медно-порфировые месторождения, в которых наиболее отчетливо проявляются горизонтальные и вертикальные составляющие зональности в размещении как рудогенных элементов, так и различных формаций метасоматитов (Березина и др., 1995; Попов, 1977). Метасоматическая зональность месторождения свидетельствует о соответствии модели типичного объекта медно-порфировой рудной формации. Как и на многих месторождениях этого типа, внешняя зона измененных пород представлена пропилитами, промежуточная – кварц-серицитовыми метасоматитами и аргиллизитами, а внутренняя – существенно кварцевыми метасоматитами (Мигачев и др., 1984; Марущенко и др., 2015; Мансуров и др., 2018).

В процессе становления Кошкарчайского массива отделение металлоносных флюидов было неоднократным, что и привело к формированию вначале связанной с ранней фазой обширной зоны пропилитизации, а затем – наложенных зон калиевого, кварц-серицитового и кварцевого метасоматоза и аргиллизации, обусловленных воздействием более кислых по составу поздних фаз. Образование большей части промышленного медно-молибден-порфирового оруденения произошло вслед за внедрением порфиров ранней генерации. С поздней фазой порфиров связано переотложение ранее образовавшихся руд и формирование богатых скоплений в виде прожилково-вкрапленных штокверковых руд, ориентированных в широтном направлении в трещинной зоне Кошкарчайского разлома (Мансуров, 2013). Поздняя фаза порфиров была рудоносной в гораздо меньшей степени, чем первая. Она сопровождалась интенсивным окварцеванием, что и привело к образованию в центральной части месторождения "кварцевого ядра". К северу от него развита кварц-серицитовая зона с богатыми медно-молибден-порфировыми рудами, затем следует пропилитовая с преимущественно прожилковой пиритовой минерализацией. Кварц-серицитовые метасоматиты располагаются как внутри ореола биотит-калишпат-кварцевых пород, так и непосредственно над ними и сопровождают порфировые оруденения (Баба-заде и др., 1990; Марущенко и др., 2015; Сотников и др., 1988).

Из основных характеристик для построения моделей медно-порфировых месторождений типичным является набор зональных метасоматических изменений, имеющих непосредственную корреляцию с участками, богатыми рудой. Наиболее яркие примеры: калиевые, кварц-серицитовые вторичные изменения, расширенная аргиллизация и пропилитизация (Lowell and Guilbert, 1970). Обычно гипогенные расширенные аргиллитовые изменения образуются относительно поздно в процессе образования порфировой системы, но могут начинаться

и довольно рано (Sillitoe, 2010). Детальными исследованиями порфировых месторождений было установлено, что ранние калиево-силикатные вторичные изменения (КПШ ± биотит ± магнетит с кварцевыми жилами) порфировых систем образованы в условиях высоких температур (400–600°C), при участии сильно минерализованных флюидов магматического происхождения (Марущенко и др., 2015; Lowell and Guilbert, 1970; Sillitoe, 1996). А уже представляющие следующий этап более поздние серицитовые жилы ассоциируют с более холодными и менее минерализованными водами (Hedenquist and Richards, 1998; Sheppard et al., 1971).

В пределах месторождения мощность зон метасоматически измененных пород составляет от нескольких метров до десятков, а иногда даже сотен метров (в узлах пересечения разноориентированных разрывов). Протяженность их измеряется от 500–1000 до 2000–3000 м. Вокруг рудогенерирующих интрузивов выделяются три постепенно сменяющие друг друга в пространстве метасоматические зоны в виде эллипса, окаймляющие интрузивный массив порфирового сложения (Баба-заде и др., 1990). Внутренняя зона, охватывающая эндоконтактовую и апикальную части порфировой интрузии, представлена интенсивно окварцованными, почти нацело преобразованными во вторичные кварциты, породами. Кварцевое ядро, обычно характерное для многих порфировых интрузивов с медно-порфировой минерализацией, на данном месторождении не отмечается, и можно лишь предполагать его наличие в центральной, не вскрытой эрозией части интрузива. Внутренняя зона представлена вторичными кварцитами светло-серого цвета с многочисленными прожилками кварца поздних генераций. Судя по минеральному составу, данная зона соответствует кварц-серицитовой фации вторичных кварцитов.

Средняя зона представлена кварц-серицит-хлоритовой фацией вторичных кварцитов. Минеральный состав зоны представлен, в основном, кварцем, хлоритом и серицитом, в ней присутствуют также эпидот, кальцит и пирит. Зона занимает значительную площадь длиной 0,5 км при ширине 200–400 м. На эту фацию отчетливо накладывается медно-порфировая минерализация прожилково-вкрапленного типа. Наиболее интенсивное ее развитие характерно именно для кварц-серицит-хлоритовой фации вторичных кварцитов, фиксирующих зоны повышенной трещиноватости.

Третья, внешняя зона метасоматической колонки, представлена пропилитовой фацией вторичных кварцитов. Минеральный состав данной фации представлен хлоритом, эпидотом, цоизитом, альбитом, серицитом, а также пиритом. В этой зоне, которой венчается метасоматическая колонка, изредка выделяются незначительные рудные интервалы, чаще жильного типа, характеризующиеся повышенным содержанием меди.

На основании петрохимических данных исследованы и сопоставлены вторичные изменения вмещающих пород в зонах различных типов метасоматитов, образованных в процессе формирования медно-порфировых месторождений. Установлено, что медно-порфировое оруденение сопряжено с широким ореолом гидротермально-измененных пород, часто с достаточно четкой рудно-метасоматической зональностью. Обобщенная колонка метасоматической зональности в масштабах рудного района и месторождений выражена в последовательной смене следующих метасоматических зон: кварцевая → калишпатовая → кварц-серицитовая → аргиллитовая → пропилитовая (Мигачев и др., 1984; Марущенко и др., 2015; Мансуров и др., 2018).

Исходя из выше отмеченного, можно сделать вывод, что медно-порфировая минерализация была сформирована в форме кольца вокруг интрузивного тела кварц-диоритового состава, которое прорывает более древние вулканы. Таким образом, именно более древние вулканы, интенсивно гидротермально-измененные, служат рудовмещающей средой для рудной минерализации.

Геохимические особенности рудообразующих систем. В основу изучения геохимической особенности медно-порфировых систем Муровдагского рудного района легли результаты химического анализа керн скважин (табл. 2) на глубине в среднем до 280 м. Геохимические данные по скважинам были обработаны в программе

STATISTIKA методом факторного анализа главных компонентов (Белонин и др., 1982; Боровиков, 2013). В результате проведенной обработки были получены три фактора, отражающие корреляционные связи между четырнадцатью рудными элементами (табл. 3).

Элементы согласно весам, группируются в факторы или геохимические ассоциации, которые могут быть сопоставлены с минеральными парагенезисами основных стадий рудоотложения (Белонин и др., 1982; Николаев и др., 2016). Соотнесение геохимических и минеральных ассоциаций подтверждается коэффициентами корреляции между факторным анализом элементов и содержанием сульфидов по данным опробования керн скважин (табл. 3, 4).

Таблица 2

Результаты химических анализов по основным рудогенным элементам

№	Cu	Mo	Pb	Zn	Sb	As	Ni	Co	Ti	V	Cr	Bi	Ba	Sr
G-72	105	0.9	11.1	83.7	0.59	1.9	2.2	0.61	667	127	1260	0.12	50.2	39.9
G-73	248	0.83	5.52	1120	0.42	1.4	20.8	21	689	120	1340	0.06	170	42.4
G-74	149	0.77	3.68	130	0.45	2	534	84.9	891	151	1530	0.07	57	35.6
G-75	88.4	2.2	51.8	173	0.95	2	321	59.2	1230	202	1520	0.13	106	69.7
G-76	104	0.45	3.64	77.2	0.21	4.1	519	85.8	886	161	1780	0.06	59.2	29.9
G-77	66.2	0.69	3.88	124	0.2	<1	539	88.7	949	156	2210	0.06	93.5	30.6
G-78	334	1.3	68.1	636	0.88	4.6	597	95.2	770	159	2260	0.1	582	41.1
G-79	116	0.67	3.08	68.8	0.26	2.2	492	83.7	990	196	2360	0.06	120	33.7
G-80	214	2.1	13	90	1.1	5.6	17.9	17.4	6750	102	261	0.14	864	699
G-82	49.6	1	7.91	60.1	0.22	4.9	26.8	20.2	2520	323	203	0.06	48.8	50
G-84	15000	4.6	6.71	106	1	5.9	34.9	9.5	1300	180	719	0.88	456	240
G-85	10900	4.5	9.5	49.6	2.1	12.6	34.8	8.4	819	123	738	0.44	95.7	249
G-86	20300	4.2	6.93	79.3	1.2	7.5	46.4	13.2	1090	158	251	0.32	353	196
G-87	1350	7.2	6.78	35.3	0.52	1.3	15	10	1160	92.2	421	0.08	112	290

Примечание: G-72, G-73, G-74, G-79 – габбро; G-80 – диорит; G-82 – базальт; G-75, G-76, G-77 – андезит, G-78 – вторичный кварцит; G-85 – медно-порфировая руда; G-84, G-86, G-87 – рудный вторичный кварцит. Образцы пород исследовались методом масс-спектропии с индуктивно-связанной плазмой (ISP-MS). Аналитические исследования выполнялись в аналитической лаборатории USGS Геологической службы США (г. Денвер)

Таблица 3

Результаты факторного анализа геохимических данных методом главных компонентов

Элементы	Факторы		
	Ф1	Ф2	Ф3
Cu	-0,49629	0,284595	-0,7402
Mo	-0,2031	0,113155	-0,84754
Pb	0,976721	0,0241	-0,13388
Zn	0,400452	0,033848	0,685826
Sb	1,060658	0,05588	-0,00529
As	1,263956	0,121979	-0,15025
Ni	1,359442	0,311581	-0,07493
Co	1,194637	0,13958	0,497577
Ti	-0,77459	-2,781	-0,87924
V	-0,75298	-1,01647	2,852318
Cr	-1,49069	1,745758	0,530589
Bi	-0,94606	0,882604	-0,60155
Ba	-0,95203	0,335893	0,055853
Sr	-0,64012	-0,2515	-1,1893

Примечание: полужирный шрифт – значимые значения факторных нагрузок

Таблица 4

Корреляция между содержанием сульфидов и значениями факторов по данным опробования керн скважин

Минералы	Факторы		
	Ф1	Ф2	Ф3
Халькопирит	0,94983	0,123226	0,088395
Борнит	0,959018	0,042407	0,129709
Сфалерит	-0,30861	-0,84415	0,003185
Галенит	0,057914	0,007864	0,994674
Пирит	0,903098	0,29171	-0,07573
Молибденит	-0,61712	0,555844	0,042269
Собственные значения	3,116917	1,123695	1,021545
Факторные нагрузки	0,519486	0,187282	0,170258

Значения фактора Ф1 коррелируют с количеством халькопирита, борнита и пирита, что дает основание связать геохимическую ассоциацию Cu (Mo, Pb, Sb) с наиболее ранней халькопирит-борнит-пиритовой мине-

рализацией порфирового этапа формирования рудоносной структуры. Значения фактора Ф2, отвечающие ассоциации Mo (Cu, Pb, Co), статистически связаны с содержанием халькопирита и молибденита, образующих основной минеральный парагенезис медь-молибден-

порфирового оруденения (Белонин и др., 1982; Николаев и др., 2016). Графики зависимости $\Phi 1$ и $\Phi 2$ по результатам факторного анализа показаны на рис. 4.

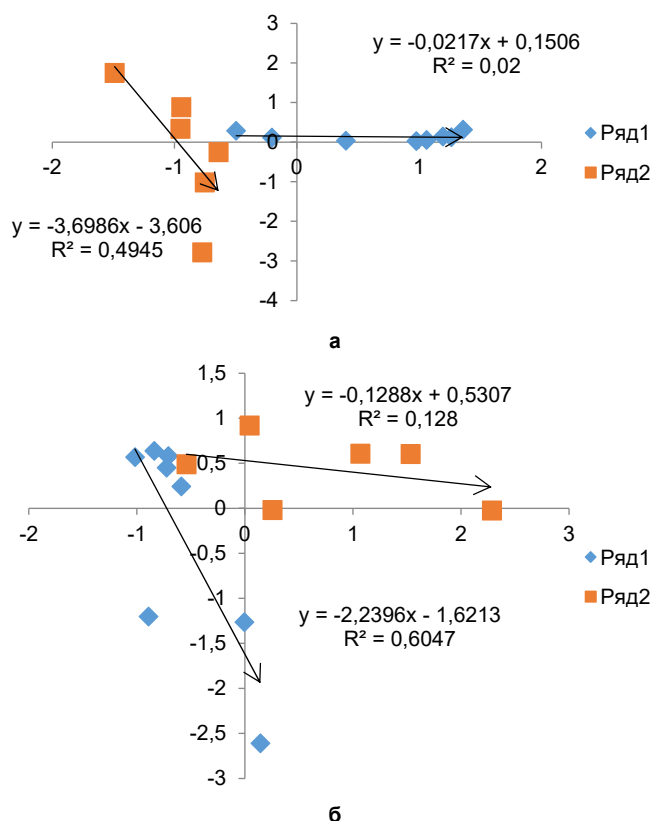


Рис. 4. Графики зависимости $\Phi 1$ (а) и $\Phi 2$ (б) по результатам факторного анализа

Анализ графиков показывает, что в процесс рудообразования были вовлечены продукты двух различных условий, которые привели к перераспределению элементов и их концентрации: гидротермальные рудообразующие флюиды (ряд 1) и химические элементы из окружающих пород, вовлеченные в процесс метасоматоза (ряд 2).

По результатам факторного анализа данных опробования скважин выявлены геохимические ассоциации, позволяющие локализовать области развития минерализации различных стадий формирования порфирово-эпитеpмальной системы. Диапазон значений вертикальной геохимической зональности по отдельным разрезам месторождения позволяет оценить уровень эрозийного среза проявлений в порфирово-эпитеpмальной системе (Боровиков и др., 2009; Николаев и др., 2016).

Условия формирования. Исследования флюидных включений. В последнее время значительное внимание уделяется исследованиям особенностей влияния магматических систем на рудообразующие процессы. Для решения данных проблем все больше используется анализ флюидных включений, позволяющий получать прямую информацию о физико-химических параметрах магматических процессов. В случае медно-порфировых месторождений изучение включений в кварцевых вкрапленниках дало возможность получить значительный объем информации о рудно-магматических системах (Реддер, 1987; Dietrich et al., 1999; Campos et al., 2002; Lehmann, 2004; Davidson and Kamenetsky, 2007; Davidson and Kamenetsky, 2005).

Применение метода термобарогеохимии предусматривает установление последовательности захвата флюидных включений в минералах магматических пород рудно-магматических систем и в различных минеральных

ассоциациях месторождений, реконструкцию по флюидным включениям таких параметров как температура, соленость, газосодержание и металлоносность флюидов, ответственных за рудообразование, установление природы металлоносных растворов (Ермаков и Долгов, 1979; Реддер, 1987; Бортников и др., 2004; Наумов и др., 2016; Хоменко и др., 2016; Гибшер и др., 2018).

Флюидные включения в минералах, связанные с рудой, включая Si -сульфаты и кварц, показывают, что рудообразующий флюид может иметь минерализацию 2–5 вес.% NaCl экв., хотя может иметься заметное увеличение минерализации с глубиной до 20–30 вес.% NaCl экв. ниже рудной зоны (Бортников и др., 2004; Борисенко и др., 2017; Хоменко и др., 2016; Гибшер и др., 2018). Это пространственное разделение слабо минерализованных гидротерм, связанных с рудами высокосульфитизированных месторождений над более минерализованными гидротермами в недрах системы, отличается от повышенной минерализации гидротерм, которые располагаются в более глубоких медно-порфировых месторождениях, где гиперминерализованные рассолы сосуществуют со слабо минерализованным паром. Это различие может быть обусловлено высокой плотностью рассола, который не может легко подняться на малые глубины (Hedenquist and Richards, 1998; Williams et al., 1995; Cooke et al., 2005).

О физико-химических условиях формирования месторождений исследуемого района можно судить по газовой-жидким включениям. Нами применены методы гомогенизации и декрипитизации включений в кварце, галените, сфалерите и халькопирите во всех последовательных стадиях минералообразования, что позволяет проследить характер изменения температурного

режима растворов в пространстве и во времени. Изучено 15 образцов из жил и прожилков месторождений и рудопроявлений Муровдагского рудного района, представляющих разные типы минеральных ассоциаций. Среди изученных флюидных включений в соответствии с известными критериями (Реддер, 1987) в зернах кварца были выделены три генерации флюидных включений: I – первичные, находящиеся внутри кварцевых зерен с залеченными трещинами; II – первично-вторичные, не выходящие за пределы границ кварцевых зерен; III – вторичные, приуроченные к залеченным трещинам. К первичным отнесены флюидные включения, равномерно распределенные в объеме минерала-хозяина либо приуроченные к зонам роста. Вторичными считались включения, приуроченные к секущим минерал-хозяин трещинам. Первично-вторичные флюидные включения приурочены к трещинам не достигающим внешних границ кристаллов и зерен, а по фазовому наполнению аналогичны первичным включениям (Реддер, 1987; Николаев и др., 2016).

Флюидные включения разделены на следующие типы (рис. 5): существенно водные ($\text{ЖH}_2\text{O} + \text{Г}$), существенно газовые ($\text{Г} > \text{ЖH}_2\text{O}, \text{Г}$) и водно-углекислотные ($\text{ЖH}_2\text{O} \pm \text{ЖCO}_2 \pm \text{ГCO}$). Для микротермометрических исследований отбирались пригодные для изучения первичные и первично-вторичные флюидные включения размером от 4 до 33 мкм. По фазовому составу при комнатной температуре все флюидные включения двухфазовые, газовой-жидкие, заполнены водно-солевым раствором. В среднекристаллическом продуктивном кварце были обнаружены первичные и первично-вторичные флюидные включения, размером 22-17 мкм, пригодные для микротермических исследований. Флюидные включения имеют удлиненную, реже округлую форму, распространены неравномерно, преимущественно по зонам роста, реже группами. В сфалерите флюидные включения имеют удлиненную форму, распространены немногочисленными группами вдоль плоскостей спайности и имеют два фазовых газовой-жидких включения водно-солевых растворов (Наумов и др., 2016; Волков и др., 2018).

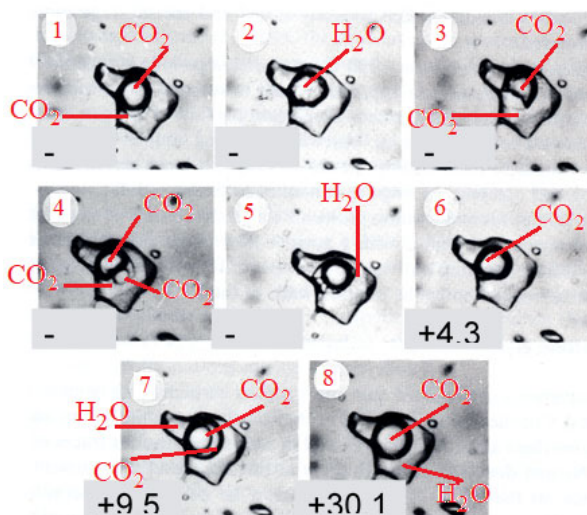


Рис. 5. Типы флюидных включений в кварце рудных прожилков месторождений и рудопроявлений Муровдагского рудного района: многофазовые включения высокотемпературных хлоридных рассолов (1–3); содержания водных растворов и газов (4–6) и двухфазовые газовой-жидкие флюидные включения (7, 8)

Формирование первой, самой высокотемпературной стадии, характеризующейся наличием кварцевых жил с крупночешуйчатым молибденитом и пиритом, протекало в температурном интервале 300–350 °С. Гомогенизация сингенетических включений происходила по первому типу. Соотношение ж:г составляет 75:25%. Температурные условия формирования минеральных ассоциаций второй стадии, представленные кварцем, мелкочешуйчатым молибденитом, пиритом и халькопиритом, были выявлены при исследовании включений в кварце. Гомогенизация первичных включений происходит по первому типу в температурном интервале 230–300 °С. Кристаллизация минералов третьей – галенит-сфалерит-халькопиритовой стадии, происходила в интервале температур 200–260 °С. Проведенные исследования показали, что гидротермальное рудоотложение в пределах Муровдагского рудного района происходило в широком интервале температур (350–200 °С). Каждому типу минерализации соответствует вполне определенный диапазон физико-химических параметров и химического состава рудообразующего флюида (Reynolds and Beane, 1985).

Для выявления источника рудообразующих растворов по стадиям минералообразования месторождений Муровдагского рудного района использовались данные

по изотопному составу серы, сульфидов и состава газовой фазы гидротерм рудоносной кварц-пирит-халькопиритовой и кварц-халькопиритовой. Установлено направленное фракционирование изотопов серы в сторону обогащения сульфидов легким изотопом от ранней продуктивной стадии рудоотложения к поздней, как следствие закономерного увеличения окислительного потенциала гидротермальной системы. Сульфиды, завершающие рудный процесс кварц-сфалерит-халькопиритовой стадии, характеризуются заметным обогащением тяжелым изотопом серы δS^{34} с довольно узким диапазоном вариации δS^{34} от +0,1‰ до +0,7‰. Близкое значение $\delta^{34}\text{S} = +10\text{‰}$ показал и пирротин из ореола рассеянной сульфидной минерализации с фланга штока. Полученные изотопные данные серы сульфидов (+0,1‰ до +0,7‰) значительно тяжелее интервала значений ($\delta^{34}\text{S} = 0 \pm 3\text{‰}$), приписываемого магматической сере (Ohmoto and Rye, 1979; Taylor, 1986; Goldfarb et al., 1991). Обогащенная тяжелым изотопом сера могла образоваться при гидролизе сульфидов, содержащихся во вмещающих осадочных породах (Ohmoto and Rye, 1979). При этом не наблюдается характерных различий в соотношениях изотопов серы в пирите из вкрапленности в околорудных измененных породах, из прожилков во вмещающих

породах и пирите из наиболее обогащенных частей минерализованных зон (Goldfarb et al., 1991). Таким образом, допускается, что имелся единый источник серы пиритов, образованных в сходных условиях, а отсутствие сульфатов в непосредственной ассоциации с сульфидами, сравнительно однородный изотопный состав пирита, наконец, отсутствие направленного разделения изотопов в ходе рудообразующего процесса, указывают на гомогенизацию тяжелой серы при определенных высокотемпературных условиях (Ohmoto and Rye, 1979; Taylor, 1986).

Рудообразующие гидротермальные растворы, по данным изучения флюидных включений, были хлоридно-натриевого типа, а концентрации солей варьировали от 20 до 30 мас.% экв. NaCl. Рудные компоненты переносились этими растворами в форме комплексных ионов, содержащих хлориды натрия и калия, и реже сульфаты и карбонаты. Рудообразование происходило в интервале 350-200°C (Попов, 1977; Титли и Бин, 1988; Серафимовский и др., 2010).

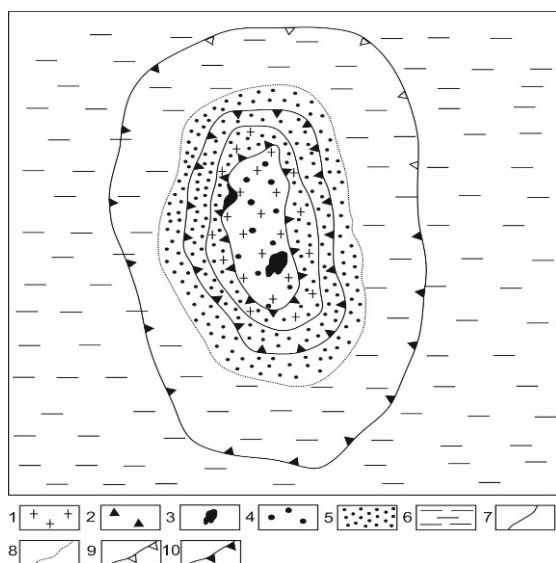


Рис. 6. Модель горизонтального сечения Кошкарчайского медно-порфирового месторождения:

- 1 – рудоносный порфировый интрузив;
- 2 – взрывные брекчии; 3 – зона кварцевого ядра;
- 4 – зона калишпатизации; 5 – зона окварцевания и серицитизации; 6 – пропилитизированные породы интрузивной рамы; 7 – рудоносная порфировая интрузия;
- 8 – зоны окварцевания и серицитизации;
- 9 – ореолы интрузивной пиритизации;
- 10 – промышленные руды

Главными составляющими моделей являются вмещающая рама (фанеритовые интрузивы), малые порфировые тела типа штоков и даек (локализующиеся, как правило, в зонах развития рудоконтролирующих структур и пространственно тесно увязывающиеся с оруденением), брекчиевые тела, рудные тела, рудно-метасоматическая зональность (Попов, 1977; Титли и Бин, 1984; Павлова и Сахаровский, 1988). Модель учитывает известные представления о характере зависимости между оруденением, малыми порфировыми интрузиями и локально распространенными рудоносными гидротермалитами (Баба-заде и др., 1990; Берзина и др., 1995; Берзина и Борисенко, 2008; Волков и др., 2006).

Выводы.

1. Муровдагский рудный район представляет собой перспективную площадь на медно-порфировые, а также золоторудные и полиметаллические руды.

Месторождения медно-порфировых руд, исследуемого рудного района, в большинстве случаев характеризуются незначительным уровнем эрозионного среза, о чем можно судить по анализу фаций и мощностей осадочных и осадочно-вулканогенных пород и их палеотектонических реконструкций, по фациям глубинности изверженных пород, по наличию низкотемпературных контактовых минералов (эпидот, цоизит, альбит, хлорит и др.). Все это свидетельствует о том, что вскрыты лишь верхние части интрузивных массивов и пространственной связанных с ними медно-порфировых месторождений. Диапазоны значений этого показателя позволяют составить модель горизонтального и вертикального сечения Кошкарчайского медно-порфирового месторождения (рис. 6, 7). Месторождение характеризуется верхнерудным уровнем среза, эпитепральная минерализация сохранена здесь наиболее полно, и на глубине прогнозируется существенный объем медно-порфировых руд.

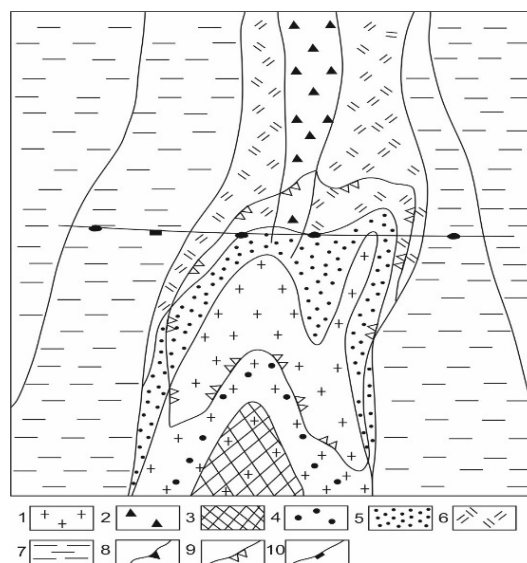


Рис. 7. Модель вертикального сечения Кошкарчайского медно-порфирового месторождения:

- 1 – рудоносный порфировый интрузив;
- 2 – брекчиевая трубка; 3 – кварцевое ядро;
- 4 – зона предполагаемой калишпатизации;
- 5 – зона окварцевания и серицитизации; 6 – зона аргиллизации;
- 7 – пропилитизированные породы интрузивной рамы;
- 8 – границы ореола интенсивной пиритизации;
- 9 – контуры промышленных руд;
- 10 – положение эрозионного среза

2. Интрузивные комплексы с медно-порфировым оруденением по геолого-петрологическим особенностям принадлежат к габбро-диорит-гранодиоритовой формации позднеюрско-раннемелового возраста. Характерными элементами интрузивов являются Cu, Pb, Zn, Ag, Mo.

3. Обобщенная колонка метасоматической зональности в масштабах рудного района и месторождения выражена в последовательной смене следующих зон: кварцевая → калишпатовая → кварц-серицитовая → аргиллизитовая → пропилитовая.

4. Флюидные включения в минералах, связанные с рудой, включая Si-сульфаты и кварц, показывают, что рудообразующий флюид может иметь минерализацию 2–5 вес.% NaCl экв., хотя может иметься заметное увеличение минерализации с глубиной до 20–30 вес.% NaCl экв. ниже рудной зоны.

5. Гидротермальное рудоотложение в пределах Муровдагского рудного района происходило в широком

интервале температур (350–200 °С). Каждому типу минерализации соответствует вполне определенный диапазон физико-химических параметров и химического состава рудообразующего флюида.

6. Сульфиды, завершающие рудный процесс кварц-сфалерит-халькопиритовой стадии, характеризуются заметным обогащением тяжелым изотопом серы δS^{34} с довольно узким диапазоном вариации δS^{34} от +0,1‰ до +0,7‰. Полученные изотопные данные серы сульфидов (+0,1‰ до +0,7‰) значительно тяжелее интервала значений ($\delta^{34}S = 0 \pm 35\%$), приписываемого магматической сере.

7. По результатам факторного анализа данных скважин выявлены геохимические ассоциации, позволяющие локализовать области развития минерализации различных стадий формирования порфирово-эпитермальной системы. Диапазон значений вертикальной геохимической зональности по отдельным разрезам месторождения позволяет оценить уровень эрозийного среза проявлений в порфирово-эпитермальной системе.

8. Комплексность объектов свидетельствует о высокой перспективности медно-порфировых площадей и выделенных на них участков в ранге потенциальных рудных полей.

Список использованных источников

- Абдуллаев, Р.Н., Мустафаев, Г.В., Мустафаев, М.А. (1988). Мезозойские магматические формации Малого Кавказа и связанное с ними эндогенное оруденение. Баку: Элм.
- Баба-заде, В.М., Махмудов, А.И., Рамазанов, В.Г. (1990). Медно- и молибден-порфировые месторождения. Баку: Азернешр.
- Белонин, М.Д., Голубева, В. А., Скублов, Г.Т. (1982). Факторный анализ в геологии. Москва: Недра.
- Берзина, А.П., Борисенко, А.С. (2008). Cu-Mo порфировое оруденение и мантийные плуны. Докл. АН РФ, 422, 655–659.
- Берзина, А.П., Добрецов, Н.Л., Сотников, В.Н. (1995). Эволюция медно-молибденовых рудно-магматических систем Центрально-Азиатского складчатого пояса. Доклады Российской академии наук, 342(1), 73–75.
- Борисенко, И.Д., Боровиков, А.А., Борисенко, А.С., Гасков И.В. (2017). Физико-химические условия формирования руд Самолазовского месторождения золота (Центральный Алдан). Геология и геофизика, 58 (12), 1915–1927.
- Боровиков, А.А., Лапухов, А.С., Борисенко, А.С., Сереткин, Ю.В. (2009). Химические условия формирования эпитермального Асачинского Au-Ag месторождения (Ю. Камчатка). Геология и геофизика, 50 (8), 897–909.
- Боровиков, В.П. (2013). Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Учебное пособие для вузов. Москва: Горячая линия-Телеком.
- Бортников, Н.С., Симонов, В.А., Богданов, Ю.А. (2008). Флюидные включения в минералах из современных сульфидных построек: физико-химические условия минералообразования и эволюция флюида. Геология рудных месторождений, 46 (1), 74–87.
- Волков, А.В., Савва, Н.Е., Колова, Е.Е., Прокофьев, П.Ю., Муралиов, К.Ю. (2018). Au-Ag эпитермальное месторождение Двойное (Чукотка, Россия). Геология рудных месторождений, 60 (1), 590–609.
- Волков, А.В., Савва, Н.Е., Сидоров, А.А. (2006). Закономерности размещения и условия образования Cu-Au-порфировых месторождений Северо-Востока России. Геология рудных месторождений, 48 (6), 512–539.
- Геология Азербайджана. (2003). Магматизм. Баку: изд-во Nafta-Press.
- Геология Азербайджана. (2005). Тектоника. Баку: изд-во Nafta-Press.
- Гибшер, Н.А., Томиленко, А.А., Сазонов, А.М., Бульбак, Т.А., Хоменк, М.О., Рябуха, М.А., Шапаренко, Е.О., Сильянов, С.А., Некрасова Н.А. (2018). Рудоносные флюиды золоторудного месторождения Эльдorado (Енисейский край, Россия). Геология и геофизика, 59 (8), 1220–1237.
- Ермаков, Н.П., Долгов, Ю.А. (1979). Термобарогеохимия. Москва: Недра.
- Мансуров М.И. (2014). Модели рудно-магматических систем медно-порфировых месторождений Гошгарчайского рудного поля (Малый Кавказ, Азербайджан). Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений, 4 (47), 29–42.
- Мансуров, М.И. (2013). Геолого-генетическая модель Гошгарчайской рудно-магматической системы Муровдагского поднятия (Малый Кавказ, Азербайджан). Известия Национальной академии наук Азербайджана. Науки о Земле, 4, 16–22.
- Мансуров, М.И., Сафари, М.Г., Каландаров, Б.Г., Керимов, В.М., Мамедова, А.Г. (2018). Зональность оруденения и метасоматитов в медно-порфировых месторождениях Гошгарчайской рудно-магматической системы (Малый Кавказ, Азербайджан). Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской Академии Естественных Наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых, 41(1), 38–53.
- Марущенко, Л.И., Бакшеев, И.А., Нагорная, Е.В., Читалин, А.Ф., Николаев, Ю.Н., Калько, И.А., Прокофьев, В.Ю. (2015). Кварц-серицитовые метасоматиты и аргиллизиты Au-Mo-Cu месторождения Песчанка (Чукотка). Геология рудных месторождений, 57 (3), 239–252.
- Мигачев, И.Ф., Шишаков, В.Б., Сапожников, В.Г., Каминский, В.Г. (1984). Рудно-метасоматическая зональность медно-порфирового месторождения на Северо- Востоке СССР. Геология рудных месторождений, 26 (5), 91–94.
- Монгуш, А.Д.О., Лебедев, В.И. (2013). Ак-Сугское медно-молибден-порфировое месторождение: вещественный состав пород и руд. Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений, 1 (42), 22–29.
- Наумов, Н.Б., Гирнис, А.В., Дорофеева, В.А., Коваленкер, В.А. (2016). Концентрация рудных элементов в магматических расплавах и природных флюидах по данным изучения включений в минералах. Геология рудных месторождений, 58 (4), 367–384.
- Николаев, Ю.Н., Бакшеев, И.А., Прокофьев, В.Ю., Нагорная, Е.В., Марущенко, Л.И., Сидорина, Ю.Н., Читалин, А.Ф., Калько, И.А. (2016). Au-Ag минерализация порфирово-эпитермальных систем Баимской зоны (Западная Чукотка, Россия). Геология рудных месторождений, 58 (4), 319–345.
- Омельяненко, Б.И. (1978). Околорудные гидротермальные изменения пород. Москва: Недра.
- Попов, В.С. (1977). Геология и генезис медно-молибден-порфировых месторождений. Москва: Наука.
- Прокофьев, В.Ю. (1998). Типы гидротермальных рудообразующих систем (по данным исследования флюидных включений). Геология рудных месторождений, 6, 514–528.
- Реддер, Э. (1987). Флюидные включения в минералах. Москва: Мир.
- Серафимовский, Т., Стефанова, В., Волков, А.В. (2010). Карпиковые медно-золото-порфировые месторождения Бучим-Дамьян-Бороводольского рудного района (Македония). Геология рудных месторождений, 52 (3), 203–220.
- Сотников, В.И., Берзина, А.П., Калинин, А.С. (1988). Обобщенная генетическая модель рудно-магматических систем медно-молибденовых рудных узлов. В Оболенский, А.А., Сотников, В.И., Шарапов, В.Н. (Ред.) Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск: Наука.
- Титли, С.Р., Бин Р.Е. (1984). Медно-порфировые месторождения. Генезис рудных месторождений. Москва: Мир.
- Хоменко, М.О., Гибшер, Н.А., Томиленко, А.А., Бульбак, Т.А., Рябуха, М.А., Семенова Д.В. (2016). Физико-химические параметры и возраст формирования Васильковского золоторудного месторождения (Северный Казахстан). Геология и геофизика, 57 (12), 2192–2217.
- Campos, E., Touret, J.L.R., Nikogosian, I., Delgado, J. (2002). Cu-bearing magmas in the Zaldívar porphyry Cu deposit, Northern Chile. Geodynamic consequences. Tectonophysics, 345 (1-4), 229–251.
- Cooke, D.R., Hollings, P., Walche, J.L. (2005). Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls. Economic Geology, 100 (5), 801–816.
- Davidson, P., Kamenetsky, V.S. (2007). Primary aqueous fluids in rhyolitic magmas: Melt inclusion evidence for pre- and post-trapping exsolution. Chemical Geology, 237 (3-4), 372–383.
- Dietrich, A., Lehmann, B., Wallianos, A., Traxel, K. (1999). High copper and silver abundances in melt inclusions of Bolivian tin porphyry systems. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema, 337–339.
- Goldfarb, R.J., Newberry, R.J., Pickthorh, W.J., Gent, C.L. (1991). Oxygen, hydrogen and sulfur isotope studies in the Juneau gold belt, Southeastern Alaska: constraints on the origin of hydrothermal fluids. Economic Geology, 86, 66 – 80.
- Hedenquist, J.W., Richards, J. (1998). The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits, Techniques in Hydrothermal Ore Deposits Geology. Society of Economic Geology Short Course, 24–25 October, Toronto, Canada, 235– 56.
- Lehmann, B. (2004). Metallogeny of the Central Andes: geotectonic framework and geochemical evolution of porphyry systems in Bolivia and Chile during the last 40 million years. Metallogeny of the Pacific Northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Vladivostok: Dalnauka.
- Lowell, J.D., Guilbert, J.M. (1970). Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper ore deposits. Economic Geology, 65, 373–408.
- Ohmoto, H., Rye, R.O. (1979). Isotopes of sulfur and carbon. Geochemistry of hydrothermal ore deposits. N. Y.: Wiley.
- Reynolds, T.J., Beane, R.E. (1985). Evolution of hydrothermal fluid characteristics at the Santa Rita, New Mexico, porphyry copper deposit. Economic Geology, 80, 1328–1347.
- Sheppard, S.M.F., Nielsen, R.L., Taylor, H.P. Jr. (1971). Hydrogen and oxygen isotope ratios in minerals from porphyry copper deposits. Economic Geology, 66, 515–542.
- Sillitoe, R.H. (1996). Granites and metal deposits. Episodes, 19, 126–133.
- Sillitoe, R.H. (2010). Porphyry Copper Systems. Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology, 105, 3–41.

Sillitoe, R.H., Hart, S.R. (1984). Lead-isotope signatures of porphyry copper deposits in oceanic and continental settings, Colombian Andes. *Geochemical et Cosmochimica Acta*, 48, 2135–2142.

Taylor, B.E. (1986). Magmatic volatiles: Isotopic variation of C, H, and S. *Rev. Miner.*, 16, 185–225.

Williams, T.J., Candela, P.A., Piccoli, P.M. (1995). The partitioning of copper between silicate melts and two phase aqueous fluids: An experimental investigation at 1 kbar, 800°C and 0.5 kbar, 850°C. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 121, 388–399.

References

Abdullayev, R.N., Mustafayev, G.V., Mustafayev, M.A. (1988). Mesozoic magmatic formations of the Lesser Caucasus and associated endogenous mineralization. Baku: Elm. [in Russian]

Babazadeh, V.M., Makhmudov, A.I., Ramazanov, V.G. (1990). Copper and molybdenum porphyry deposits: Baku: Azerneshr. [in Russian]

Belonin, M.D., Golubeva, V.A., Skublov, G.T. (1982). Factor Analysis in Geology. Moscow: Nedra. [in Russian]

Berzina, A.P., Borisenko, A.S. (2008). Cu-Mo porphyry mineralization and mantle plumes. *Reports of the Russian Academy of Sciences*, 422, 655–659. [in Russian]

Berzina, A.P., Dobretsov, N.L., Sotnikov, V.N. (1995). Evolution of copper-molybdenum ore-magmatic systems of the Central Asian fold belt. *Reports of the Russian Academy of Sciences*, 342 (1), 73–75. [in Russian]

Borisenko, I.D., Borovikov, A.A., Borisenko, A.S., Gaskov I.V. (2017). Physicochemical conditions for the formation of ores at the Samolazovskoe gold deposit (Central Aldan). *Geology and geophysics*, 58 (12), 1915–1927. [in Russian]

Borovikov, A.A., Lapukhov, A.S., Borisenko, A.S., Seretkin, Yu.V. (2009). Chemical conditions for the formation of the epithermal Asachinsky Au-Ag deposit (South Kamchatka). *Geology and Geophysics*, 50 (8), 897–909. [in Russian]

Borovikov, V.P. (2013). A popular introduction to modern data analysis in STATISTICA. Textbook for universities. Moscow: Goryachiya liniya-Telekom. [in Russian]

Bortnikov, N.S., Simonov, V.A., Bogdanov, Yu.A. (2008). Fluid inclusions in minerals from modern sulfide structures: physicochemical conditions of mineral formation and fluid evolution. *Geology of ore deposits*, 46 (1), 74–87. [in Russian]

Campos, E., Touret, J.L.R., Nikogosian, I., Delgado, J. (2002). Cu-bearing magmas in the Zaldívar porphyry Cu deposit, Northern Chile. *Geodynamic consequences. Tectonophysics*, 345 (1–4), 229–251.

Cooke, D.R., Hollings, P., Walche, J.L. (2005). Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls. *Economic Geology*, 100 (5), 801–816.

Davidson, P., Kamenetsky, V.S. (2007). Primary aqueous fluids in rhyolitic magmas: Melt inclusion evidence for pre- and post-trapping exsolution. *Chemical Geology*, 237 (3–4), 372–383.

Dietrich, A., Lehmann, B., Wallianos, A., Traxel, K. (1999). High copper and silver abundances in melt inclusions of Bolivian tin porphyry systems. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema. 337–339.

Ermakov, N.P., Dolgov, Yu. A. (1979). Thermobarogeochemistry. Moscow: Nedra. [in Russian]

Geology of Azerbaijan. (2003). Magmatism. Baku: publishing house Nafta-Press. [in Russian]

Geology of Azerbaijan. (2005). Tectonics. Baku: publishing house Nafta-Press. [in Russian]

Gibsher, N.A., Tomilenko, A.A., Sazonov, A.M., Bulbak, T.A., Khomenk, M.O., Ryabukha, M.A., Shaparenko, E.O., Silyanov, S.A., Nekrasova N.A. (2018). Ore-bearing fluids of the Eldorado gold deposit (Yenisei Ridge, Russia). *Geology and Geophysics*, 59 (8), 1220–1237. [in Russian]

Goldfarb, R.J., Newberry, R.J., Pickthorh, W.J., Gent, C.L. (1991). Oxygen, hydrogen and sulfur isotope studies in the Juneau gold belt, Southeastern Alaska: constraints on the origin of hydrothermal fluids. *Economic Geology*, 86, 66–80.

Hedenquist, J.W., Richards, J. (1998). The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits, Techniques in Hydrothermal Ore Deposits Geology. *Society of Economic Geology Short Course. 24–25 October, Toronto, Canada*, 235–256.

Khomenko, M.O., Gibsher, N.A., Tomilenko, A.A., Bulbak, T.A., Ryabukha, M.A., Semenova D.V. (2016). Physicochemical parameters and age of formation of the Vasilkovsky gold ore deposit (Northern Kazakhstan). *Geology and geophysics*, 57 (12), 2192–2217. [in Russian]

Lehmann, B. (2004). Metallogeny of the Central Andes: geotectonic framework and geochemical evolution of porphyry systems in Bolivia and Chile during the last 40 million years. Metallogeny of the Pacific Northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Vladivostok: Dalnauka.

Lowell, J.D., Guilbert, J.M. (1970). Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper ore deposits. *Economic Geology*, 65, 373–408.

Mansurov, M.I. (2013). Geological-genetic model of Goshgarchay ore-magmatic system of Murovdag uplift. (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Journal of News of ANAS. Earth Sciences*, 4, 16–22. [in Russian]

Mansurov, M.I. (2014). Models of ore-magmatic systems of copper-porphyry of deposits of Goshgarchay ore field (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Bulletin of the Siberian department of the section of Earth Sciences of the Russian Academy Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of mineral deposits*, 4(47), 29–42. [in Russian]

Mansurov, M.I., Safari, M.G., Kalandarov, B.G., Kerimov, V.M., Mammadova, A.G. (2018). Zonation of mineralization and metasomatites in porphyry copper deposits of the Goshgarchay ore-magmatic system (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Bulletin of the Siberian department of the section of Earth Sciences of the Russian Academy Natural Sciences. Geology, exploration and development of mineral deposits*, 41 (1), 38–53. [in Russian]

Marushenko, L.I., Baksheev, I.A., Nagornaya, E.V., Chitalin, A.F., Nikolaev, Yu.N., Kalko, I.A., Prokofiev, V. Yu. (2015). Quartz-sericite metasomatites and mudlites Au-Mo-Cu from the Peschanka deposit (Chukotka). *Geology of ore deposits*, 57 (3), 239–252. [in Russian]

Migachev, I.F., Shishakov, V.B., Sapozhnikov, V.G., Kaminsky, V.G. (1984). Ore-metasomatic zoning of a porphyry copper deposit in the North-East of the USSR. *Geology of ore deposits*, 26 (5), 91–94. [in Russian]

Mongush, A.-D.O., Lebedev, V.I. (2013). Ak-Sug copper-molybdenum-porphyry deposit: material composition of rocks and ores. *Bulletin of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits*, 1(42), 22–29. [in Russian]

Naumov, N.B., Giris, A.V., Dorofeeva, V.A., Kovalenker, V.A. (2016). Concentration of ore elements in magmatic melts and natural fluids according to the study of inclusions in minerals. *Geology of ore deposits*, 58 (4), 367–384. [in Russian]

Nikolaev, Yu. N., Baksheev, I.A., Prokofiev, V.Yu., Nagornaya, E.V., Marushchenko, L.I., Sidorina, Yu.N., Chitalin, A.F., Kalko, I.A. (2016). Au-Ag mineralization of porphyry-epithermal systems of the Baim zone (Western Chukotka, Russia). *Geology of ore deposits*, 58 (4), 319–345. [in Russian]

Ohmoto, H., Rye, R.O. (1979). Isotopes of sulfur and carbon. Geochemistry of hydrothermal ore deposits. N. Y.: Wiley.

Omelyanenko, B.I. (1978). Near-ore hydrothermal alteration of rocks. Moscow: Nedra. [in Russian]

Popov, V.S. (1977). Geology and genesis of copper-molybdenum-porphyry deposits. Moscow: Science. [in Russian]

Prokofiev, V.Yu. (1998). Types of hydrothermal ore-forming systems (according to the study of fluid inclusions). *Geology of ore deposits*, 6, 514–528. [in Russian]

Redder, E. (1987). Fluid inclusions in minerals. Moscow: Mir. [in Russian]

Reynolds, T.J., Beane, R.E. (1985). Evolution of hydrothermal fluid characteristics at the Santa Rita, New Mexico, porphyry copper deposit. *Economic Geology*, 80, 1328–1347.

Serafimovsky, T., Stefanova, V., Volkov, A.V. (2010). Dwarf copper-gold-porphyry deposits Buchim-Damyan-Borovodolsk ore region (Macedonia). *Geology of ore deposits*, 52 (3), 203–220. [in Russian]

Sheppard, S.M.F., Nielsen, R.L., Taylor, H.P. Jr. (1971). Hydrogen and oxygen isotope ratios in minerals from porphyry copper deposits. *Economic Geology*, 66, 515–542.

Sillitoe, R.H. (1996). Granites and metal deposits. *Episodes*, 19, 126–133.

Sillitoe, R.H. (2010). Porphyry Copper Systems. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, 105, 3–41.

Sillitoe, R.H., Hart, S.R. (1984). Lead-isotope signatures of porphyry copper deposits in oceanic and continental settings, Colombian Andes. *Geochemical et Cosmochimica Acta*, 48, 2135–2142.

Sotnikov, V.I., Berzina, A.P., Kalinin, A.S. (1988). Generalized genetic model of ore-magmatic systems of copper-molybdenum ore clusters. In Obolensky, A.A., Sotnikova, V.I., Sharapova, V.N. (Eds.) Ore formation and genetic models of endogenous ore formations. Under. Novosibirsk: Science. [in Russian]

Taylor, B.E. (1986). Magmatic volatiles: Isotopic variation of C, H, and S. *Rev. Miner.*, 16, 185–225.

Titly, S.R., Bean R.E. (1984). Porphyry copper deposits. Genesis of ore deposits. Moscow: Mir. [in Russian]

Volkov, A.V., Savva, N.E., Kolova, E.E., Prokofiev, P.Yu., Muralov, K. Yu. (2018). Au-Ag epithermal deposit Dvoinoe (Chukotka, Russia). *Geology of ore deposits*, 60 (1), 590–609. [in Russian]

Volkov, A.V., Savva, N.E., Sidirov, A.A. (2006). Regularities of distribution and conditions of formation of Cu-Au-porphyry deposits in the North-East of Russia. *Geology of ore deposits*, 48 (6), 512–539. [in Russian]

Williams, T.J., Candela, P.A., Piccoli, P.M. (1995). The partitioning of copper between silicate melts and two phase aqueous fluids: An experimental investigation at 1 kbar, 800°C and 0.5 kbar, 850°C. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 121, 388–399.

Надійшла до редколегії 17.12.2020

M. Mansurov, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assist. Prof.,
E-mail: mamoy_mansurov@mail.ru;
Baku State University,
23 Z.Khalilov Str., Baku, AZ1148, Azerbaijan Republic

LOCATION PECULIARITIES AND EVOLUTION OF KOSHKARCHAY COPPER-PORPHYRE FIELD (LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN)

The paper deals with peculiarities of location and evolution features of Koshkarchay copper-porphyritic field of Murovdagh ore province. Major factors of concentration of copper-porphyritic mineralization in rocks of gabbro-diorite-granodiorite formation has been revealed. It has been established that the structure of this ore region was formed as a result of successive alteration of some deformation stages accompanied by development of fractures in intrusive massive, by dike intrusions, blocks displacements along faults and the fractures composed of various mineral associations. It has been made clear that the copper-porphyritic mineralization is related to the wide halo of hydro-thermal-deformed rocks, frequently observed with clearly outlined ore-metasomatic zones. The general column of metasomatic zonation within the limits of ore region and fields are expressed by successive alteration of the following metasomatic zones: quartz → kalifeldspath → quartz-sericite → argillized → propylitic. Based on structural-morphological features it can be stated that mineralization in Koshkarchay field is stockwork-vein deposit of embedded type in which the impregnations dominate over veins. The major useful component is copper. Its percentage within stockwork body varies within the broad range – from 0.2 to 2.5 %, with average 0.41 %. Among the mineral resources significantly impacting the importance of the field the molybdenum and precious metals can be indicated. In some intervals the average gold content is 2.0 grams/ton and higher. High silver content was also identified and its value reaches 30-45 grams/ton and this may positively impact the whole value of the field. Results of factor analysis of well data allowed identifying geochemical associations for localization of the areas of mineralization at various stages of evolution of porphyritic-epithermal system. Values of $\Phi 1$ factor correlate with quantity of chalcopyrite, bornite and pyrite and from this it can be inferred the tie of geochemical association of Cu (Mo, Pb, Sb) to the early chalcopyrite-bornite-pyrite mineralization of porphyritic stage of structure evolution. Values of $\Phi 2$ factor referring to the association Mo (Cu, Pb, Co), statistically are related to the content of chalcopyrite and molybdenite, which are the main mineral paragenesis of copper-molybdenite-porphyritic mineralization. Thermal-pressure and chemical methods applied for researches on impregnations of ore of pyrite-chalcopyrite, galenite-sphalerite-chalcopyrite stages in quartz made it possible to describe the fluid mode of ore formation in this field. Ore-forming hydrothermal solutions by the data of researches on fluid impregnations were the chloride-sodium type, salt concentrations varied from 20 to 30 mass % – eqv. NaCl. Ore components were transferring by these solutions in a form of complex ions containing chlorides of Na and K, rarely sulfates and carbonates. Ore forming process was going under temperatures of 350-200°C. The certain range of physical and chemical parameters and chemical composition of ore forming fluid corresponds to each type of mineralization. The study results enabled us to define temperatures of homogenization of impregnations and evaluate temperatures of fluids during mineralization at each stage, as well as to define concentrations of major salt components. Complexity of targets evidence high perspectives of copper-porphyritic areas and areas outlined in a range of perspective ore fields.

Keywords: Koshkarchay, copper-porphyry, hydrothermal-metasomatic alterations, geochemical, fluid impregnations, evolution environment, genetic features.

М. Мансуров, канд. геол.-минералог. наук, доц.,
E-mail: mamoy_mansurov@mail.ru;
Бакинський Державний Університет,
вул. 3. Халілова, 23, м. Баку, AZ1148, Азербайджан

ОСОБЛИВОСТІ РОЗТАШУВАННЯ ТА УМОВИ ФОРМУВАННЯ КОШКАРЧАЙСЬКОГО МІДНО-ПОРФІРОВОГО РОДОВИЩА (МАЛИЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)

Розглянуто особливості розміщення та умови формування Кошкарчайського мідно-порфірового родовища Муровдагського рудного району. З'ясовано основні чинники концентрування мідно-порфірового зруденіння в породах габро-діорит-гранодіоритової формації. Встановлено, що структура рудного району сформувалася в результаті послідовної зміни декількох етапів деформацій, що супроводжувалися утворенням тріщинуватості в інтрузивному масиві, впровадженням даєк, переміщенням блоків по тектонічних розривних порушеннях і виконанням тріщин різними мінеральними асоціаціями. З'ясовано, що мідно-порфірове оруденіння пов'язане з широким ореолом гідротермально-змінених порід, часто з досить чіткою рудно-метасоматичною зональністю. Узагальнена колонка метасоматичної зональності в масштабах рудного району і родовищ виражена в послідовній зміні таких метасоматичних зон: кварцова → калішпатова → кварц-серіцитова → аргілізована → пропілітова. Ґрунтуючись на структурно-морфологічних особливостях, можна сказати, що зруденіння на родовищі Кошкарчай – штокверково-прожилкове вкрапленого типу, в якому вкрапленості переважають над прожилками і жилами. Головним корисним компонентом є мідь. Вміст її в межах штокверкового тіла нестійкий і коливається в широкому діапазоні – від 0,2 до 2,5 %, становлячи в середньому 0,41 %. З ряду рудних корисних копалин, що істотно впливають на значущість родовища, слід зазначити молібден і благородні метали. У деяких інтервалах середній вміст золота становить 2,0 г/т і більше. Поряд із золотом встановлено також підвищений вміст срібла, де його значення досягає 30–45 г/т, що може позитивно впливати на загальну цінність родовища.

За результатами факторного аналізу даних свердловин виявлено геохімічні асоціації, що дозволяють локалізувати області розвитку мінералізації різних стадій формування порфірово-епітермальної системи. Значення фактора $\Phi 1$ корелюють з кількістю халькопіриту, борніту і піриту, що дає підставу пов'язати геохімічну асоціацію Cu (Mo, Pb, Sb) з найбільш ранньою халькопірит-борніт-піритовою мінералізацією порфірового етапу формування рудносною структури. Значення фактора $\Phi 2$, що відповідають асоціації Mo (Cu, Pb, Co), статистично пов'язані з вмістом халькопіриту і молібденіту, що утворюють основний мінеральний парагенезис мідь-молібден-порфірового зруденіння. Проведені дослідження включень у кварці руд пірит-халькопіритової, галеніт-сфалерит-халькопіритової стадій термобарохімічними методами дозволяють охарактеризувати флюїдний режим процесів рудоутворення даного родовища. Рудоутворювальні гідротермальні розчини, за даними вивчення флюїдних включень, були хлоридно-натрієвого типу, а концентрації солей варіювали від 20 до 30 мас. % екв. NaCl. Рудні компоненти переносилися цими розчинами у формі комплексних іонів, що містять хлориди Na і K, і рідше сульфати і карбонати.

Рудоутворення відбувалося в інтервалі 350–200 °C. Кожному типу мінералізації відповідає цілком певний діапазон фізико-хімічних параметрів і хімічного складу рудоутворюючого флюїду. Отримані результати дозволили встановити температури гомогенізації включень і оцінити температури флюїдів під час утворення руд кожної стадії, а також визначити концентрації основних сольових компонентів. Комплексність об'єктів свідчить про високу перспективність мідно-порфірових площ та виділених на них ділянок у ранзі потенційних рудних полів.

Ключові слова: Кошкарчай, мідно-порфір, гідротермально-метасоматичні зміни, геохімічні, флюїдне включення, умови формування, генетичні особливості.

UDC 553.3/.4

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.06>N. Imamverdiyev¹, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,

E-mail: inazim17@yahoo.com;

V. Baba-zadeh¹, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,

E-mail: vbabazade1938@mail.ru;

S. Mursalov^{1,2}, Mining geology,

E-mail: samir.m.s@mail.ru;

A. Valiyev^{1,2}, PhD, Exploration Geology Manager,

E-mail: velizade_anar@yahoo.com;

M. Mansurov¹, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assist. Prof.,

E-mail: mamoy_mansurov@mail.ru;

A. Ismayilova¹, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assist. Prof.,

E-mail: aygun46@mail.ru;

¹Baku State University, 23 Z. Khalilov Str., Baku, AZ1148, Republic of Azerbaijan;²Azerbaijan International Mining Company Limited,
20 Huseyn Javid Ave., 520, Baku, AZ1073, Republic of Azerbaijan

PROSPECTS OF NEWLY DISCOVERED UGUR AREA IN THE NORTHWEST OF THE GEDABEY ORE DISTRICT (LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN)

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

The article describes Ugur exploration area located in Gedabey Ore District of the Lesser Caucasus in NW of Azerbaijan. Results of trenches and channels sampling on the surface, RC bore holes and summary of significant drill intercepts (>0.29 ppm Au) of Ugur Exploration area are presented. It has been established that The deposit is enlarged by highly gold-silver result of surface outcrop rock chip samples over an area of 2.5 kms North-South by 2 kms East-West, with the Reza gold deposit located in the central part. Out of metallic minerals crystalline hematite was observed. On surface intensive barite and barite-hematite vein and veinlets, also gossan zones were observed. The main mineralization zones have been sampled in three trenches at a distance up to 270 m by trenches #1, #2 and #3 and received positive results for gold and silver. Also there have taken approximately 550 samples from outcrop #1 and #2. On the main orebody at surface centre there occurred secondary quartzites with vein-veinlets barite-hematite mineralization over which there remain accumulations of hydrous ferric oxides cementing breccias of quartz and quartzites. And in erosion parts "reddish mass" being oxidation product of stock and stockwork hematite ores were observed. Representing typical gossans, these accumulations by the data of trenches for thickness about 5-10 m contain gold 0.3-2.0 ppm and silver 1.0-15.0 ppm. Ten diamond drill holes, named UGDD 01-10 were drilled in the center part of the deposit. The drill holes were sampled mainly in 1 meter lengths from the top of the hole to the bottom. The core samples were marked and placed into standard boxes.

Significant intervals of weighted averages greater than 0.29 ppm over down hole intervals of 1 metres or greater (>0.29 ppm Au and >0.9 m) are summarized in table 3 below. In conclusion, the outcropping alteration at the deposit is typical of the upper steam-heated levels of high-sulfidation epithermal (HSE) deposits, which in most mineralized systems of this type, may cap higher-grade gold mineralization which is hosted by underlying vuggy and oxide zones.

Keywords: Ugur exploration area, prospects, mineralization zones, content of Au, Ag, Cu, Zn, Gedabey Ore District, Lesser Caucasus.

Formulation of the problem. In spite of the fact that the ore region is well studied, a number of issues, including the assessment of perceptions of offenses and deep horizons of the private Gedabak field, the study of modern geological and geochemical methods of other ore beds and manifestations in the region is carried out.

Ore district belongs to the Lok-Karabakh island of the Jurassic – Cretaceous age, formed by subduction of the Tetis Ocean to the Eurasian Caucasus in the Tetis metallogenic belt. The results of recent geological exploration and research activities in the Gedabak Ore region are high-sulfidation type (high sulfidation) of the Gedabey deposit, with high sulfidation, and the Au-Ag-Zn-Pb filtration of the Gadir and Ugur deposits near it. Low sulfidation bedrock hopes to discover new porphyry-epithermal ore deposits as part of a single epithermal system of the ore region. The location of gold-copper-porphyry ores on the Gedabey deposit by experts as a "Gedabey copper deposit" in the Lesser Caucasus can be a promising criterion for the unique, non-ferrous and rare metals in the ore region.

The purpose of the work is to identify the regularities of the bed and manifestations of the Gedabey ore region using modern complex geological research methods, and to develop predictive search criteria to identify new perspective areas.

During the implementation of the article, maps were drawn based on the data of a company (Samir Mursalov), and results of chemical and geochemical analyzes were used. Macro and micronutrient analysis (over 500 micronutrients, including Au, Ag, Cu) was performed by

X-ray fluorescence (XRF) laboratory at SGS Mineral Services UK LTD in Ontario.

The article considers new data on the contents of Au, Ag, Cu, Zn taken from trenches and wells in these deposits. This article describes Ugur exploration area – Reza gold deposit, and some mineralization areas (Gyzyljdjadag, Shah Yatag, Yukhari Narzan and Dashbulag) which can be of interest from commercial point of view for future.

Geology. Gedabey ore district is located in the territory of Shamkir uplift of the Lok-Karabakh island arc volcanic structural-formation zone in the Lesser Caucasus Mega-anticlinorium. The ore region has a complex geological structure, and it has become complex with the intrusive masses and breaking structures of different ages and different composition. Lower Bajocian is essentially composed of an uneven succession of diabase and andesite covers, agglomerate tuffs, tuff-gravelites and siltstones. Tuff facies of the Lower Bajocian were exposed to strong metamorphism (skarn alteration and hornfelsing) as a result of the impact of Upper Bajocian volcanism and intrusives of Upper Jurassic age. Only subvolcanic facies of the Upper Bajocian in the Gedabey mine has been studied (rhyolite and rhyodacite, quartz-porphyry). Rocks related to the Bathonian stage have developed mainly in the northern and southern edges of Shamkir uplift.

Gedabey ore district and Shamkir uplift in general is complex in terms of its tectonic structure and its magmatism is complex too. Magmatic processes in this region have occurred intensely. There are 3 phases of magmatism in the ore area: 1-Bajocian phases, 2-Bathonian phases, 3-Upper Jurassic phases (Abdullaev et al., 1988) (Fig. 1).



Andesite, partially andesite-basalt composition products of the Bathonian phase of magmatism, as well as various composition pyroclastic materials and lava flows Upper Jurassic phase are spread mainly in the sidelines of Shamkir

Rhyolites and rhyodacites changed to various types of quartzite, and the surrounding rocks changed into quartzite, skarn rocks and hornstones depending upon petrographic, mineralogical and lithological compositions. However, the processes mentioned above did not occur all through the

subvolcanic masses and contact rocks. These processes occurred in such areas where there was a constant contact (open channel or open contact zone) between the subvolcano and magmatic source. One of such areas was the Misdag area in which Gedabey mineral deposit (mine) is located.

The NW part of Gedabey ore district is located along Gedabey-Bittibulag deeper fault, from the Yogundag Mountain area to Bittibulag copper-arsenic deposit. This area with respect to tectonics and metallogenic is confined to volcano-plutonic structure of Shamkir uplift of Lok-Karabakh structure-formation, Lesser Caucasus metallogenic zone (Adamia *et al.*, 2011). The ore perspective areas (porphyry, high and low sulfidation epithermal deposit types) are embedded in cone-shaped Mountain Yogundag at elevation 2085 m and Gyzyldjadag at altitude 2250.6 m.

The study of the Gedabey ore district was carried out by many geologists. They examined mainly the geology and magmatism of the region (Abdullaev *et al.*, 1988; Abdullaev, 2018; Baba-zadeh, 2005; Baba-zadeh, Abdullaeva, 2012; Baba-zadeh *et al.*, 2015, 2017; Guseynov *et al.*, 2014; Moritz *et al.*, 2016; Ramazanov *et al.*, 2012; Suleymanov, Aliev, 1977; Hemon *et al.*, 2012, 2013). However, there is little information about the new discovered deposits of the region, with the direct participation of the co-authors of this article (Gedabey Exploration Group – Anar Veliyev, Samir Mursalov).

The NW part in southern of Gedabey ore district has been explored for porphyry-epithermal ore perspective areas due to its favorable geological setting for Gedabey and Gadir type of deposit. In the result of exploration activities there were discovered several new local epithermal mineralization areas, one of which has underground mining, named Gadir deposit (low sulfidation type) (Baba-zadeh *et al.*, 2015; Valiyev *et al.*, 2016, 2018; Novruzov *et al.*, 2019) and named Ugur exploration area – Reza gold deposit (by AIMC Gedabey Exploration Group,

2014). Other ore perspective areas are in advanced stages of exploration, such as Umid, AC, Zefer and Bittibulag (Baba-zadeh *et al.*, 2019).

Identification of exploration targets by mineral prospecting often includes reviews of available information, interpretation of remote sensing data, geological mapping and soil geochemical surveys.

This article describes Ugur exploration area – Reza gold deposit, and some mineralization areas (Gyzyldjadag, Shah Yatag, Yukhari Narzan and Dashbulag) which can be of interest from the commercial point of view in future (fig. 2).

Available information on property description and location, which is common to all the exploration projects, may be found above in the report section with that name. The following information comes largely from Gedabey Exploration Group.

A personal inspection of the Ugur Exploration Area was made by Vice President Farhang Hedjazi and Director of Geology Dr. Stephen Westhead. It was concluded that, for present purposes, Gedabey NW Project is an advanced exploration project. A substantial amount of historical and more recent exploratory work has been carried out by previous and current owners and exploration activity is ongoing.

Ugur Exploration Area is identified in the following list (Fig. 2):

- Reza gold deposit (Au-Ag); high sulfidation type;
- Gyzyldjadag sulphur mineralization area (Au-Ag-S); high sulfidation type;
- Dashbulag mineralization area (Au-Ag-Cu); high sulfidation type;
- SHAH Yatag mineralization area (Au-Ag-Cu); high sulfidation type;
- Yukhari Narzan mineralization area (Au-Ag), high sulfidation type.

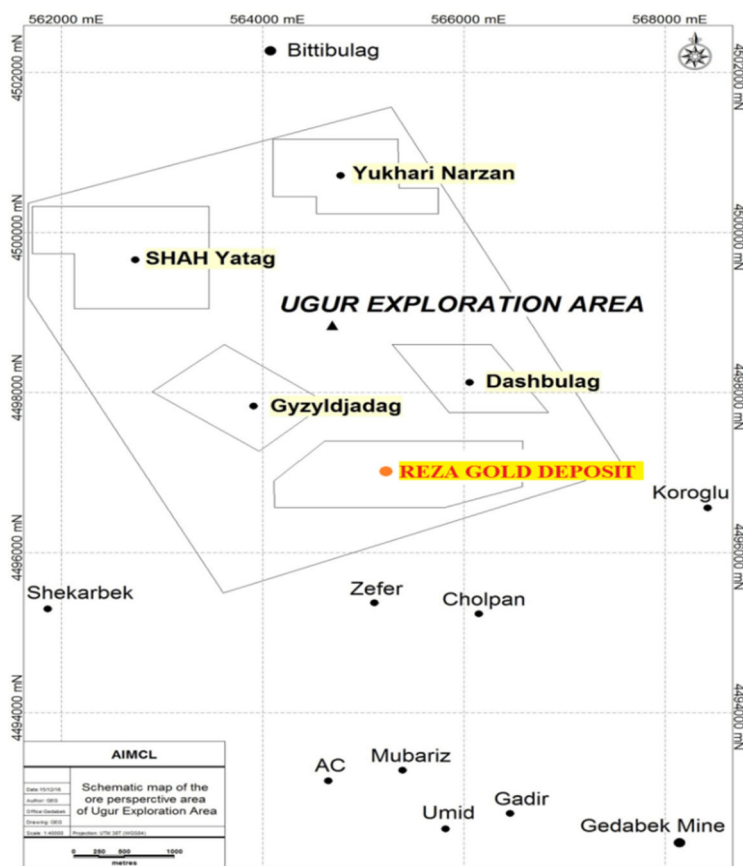


Fig. 2. Schematic map of the ore perspective area of Ugur Exploration Area

Regional geological-structural setting. Ugur Exploration Area is located at 4 km to the southwest Gedabey high sulfidation epithermal deposit, on Mountain Gyzyldjadag (Fig. 3).

The Reza gold deposit, Shah Yataq, Gyzyldjadag, Dashbulag and Yukhari Narzan mineralization areas are all located within on the Gedabey-Bittibulag regional deeper fault system. The major elongated structural zones within the system form the framework for the region.

Middle Jurassic to Upper Jurassic sedimentary, magmatic and metamorphic rocks forms the basement of the region. These are intruded by Upper Bajocian to Kimmeridgian age plagiogranites, gabbros, diorites, granodiorites and granites. In a geological structure of mineralization area includes Upper Bajocian rhyolite-dacites and their agglomerated tuffs and secondary quartzites of compound genesis. There are also widely developed contact hydrothermalites along with fumarole-solfatara type due to acid volcanism of Upper Bajocian Age. Contact hydrothermalites get their origin in plagiogranite intrusion exposures having wide expansion in a large field of hydrothermalites spread in the head river Djeyirchay. And a broad net of discontinued dislocations is developed on the given area where the dominant role among them belongs to Gedabey-Bittibulag deeper fault.

Within the mineralization area bounds there also observed Gyzyldjadag fault of latitudinal strike in which zone at a thickness 15 m the rock are brecciated, silicified and limonitized. The area is confined to an intersection knot of above-listed faults however the dominant role in mineralization localization belongs to Gedabey-Bittibulag deeper fault (Fig. 3).

Rocks within the mineralization areas bounds, enclosed between tectonic structures, are strongly kaolinized and impregnated by phenocrysts of pyrite and rarely chalcopryite at which leaching formed a gossan composed of strongly limonitized, ocherous rocks.

Copper minerals as rare phenocrysts of chalcopryite and hypogene formations as malachite are observed on an intersection area of Gedabey-Bittibulag fault with Gyzyldjadag fault.

Deposit was discovered in 2016 by GEG and called Reza in **honour of Reza Vaziri** who is the president of Azerbaijan International Mining Company, Anglo Asian Mining PLC.

The Reza gold deposit is located in Gedabey Ore District of the Lesser Caucasus in NW of Azerbaijan, 358 kms East of the capital city Baku, 48 kms East of the city of Ganja and Ganja airport, 4.7 kms NW of Gedabey open-pit gold copper mine. The deposit is the well within the Ugur exploration area, NW Area polygon of Gedabey Contract Area.



Fig. 3. Location of Ugur Exploration Area on Gedabey-Bittibulag regional deeper fault system (www.googleearth.com)

The exploration centre of the project is the partially backfilled outcrop, independently located on Google Earth at Latitude 40°37'13.10"N and Longitude 45°46'15.34"E. The known gold mineralization has an estimated north-south strike length of 400 m and a total area of approximately 20 hectares or 0.2 km². The deposit is enlarged by highly gold-silver surface outcrop rock chip samples over an area of 2.5 kms North-South by 2 kms East-West, with the Reza gold deposit located on the central part.

In a geological structure of section there participated secondary quartzites being formed under the influence of Atabek-Slavyanka plagiogranite intrusion exposures observed to the north from the gold mineralization area. The area in tectonic attitude is confined to Gyzyldjadag fault of Northeastern sub-latitudinal strike 80° with a vertical dip. The mineralization zone thickness within the area bounds is up to 80–120 m.

Rocks in the alteration zone area crumpled, argillic altered, brecciated, strongly limonitized and hematitized. Out of metallic minerals crystalline hematite was observed.

On surface intensive barite and barite-hematite vein and veinlets, also gossan zones were observed. The main mineralization zones have been sampled in three trenches at a distance up to 270m by trenches #1, #2 and #3 and received positive results for gold and silver. Also there have taken approximately 550 samples from outcrop #1 and #2.

On the main orebody at surface centre there occurred secondary quartzites with vein-veinlets barite-hematite mineralization over which accumulations of hydrous ferric oxides cementing breccias of quartz and quartzites remain. And in erosion parts "reddish mass" being oxidation product of stock and stockverk hematite ores are observed. Representing typical gossans, these accumulations by the data of trenches for thickness about 5-10 m contain gold 0.3-2.0 ppm and silver 1.0–15.0 ppm.

Surface sampling. GEG AIMCL is pleased to announce that rock chip and channel sampling has identified multiple high-grade gold mineralizations at Ugur exploration area. Following the previously reported discovery of potentially significant outcropping hematite-barite vein and breccia

mineralization (*Exploration Report, 2013-2015*) at Gedabey NW Project has undertaken systematic geological mapping and rock chip and channel sampling. This sampling has delivered exceptional gold results including 4.96 ppm Au (UGA-01), 3.07 ppm Au (UGA-43) and 3.43 ppm Au (UGA-200) confirming the existence of outcropping high-grade gold mineralization. The mineralization occurs within in NW subparallel structural zones within 200 m in the deposit and partly in the East part.

The majority of the new results are from sampling surface outcrops that occur in the centre of known high

sulfidation epithermal mineralization at Reza area, and the style of mineralization indicates a potential link between known gold-rich barite-hematite vein mineralization. A total of 48 rock chips samples were collected from out cropping and sub cropping areas across three main outcrops. The majority of samples returned highly values (30% of samples graded more than Au 0.3 ppm; see table 1 and Fig. 4). Significantly a total of 177 samples returned grades higher than Au 0.3 ppm and 31 samples returned more than Au 0.99 ppm (up to 4.96 ppm Au).

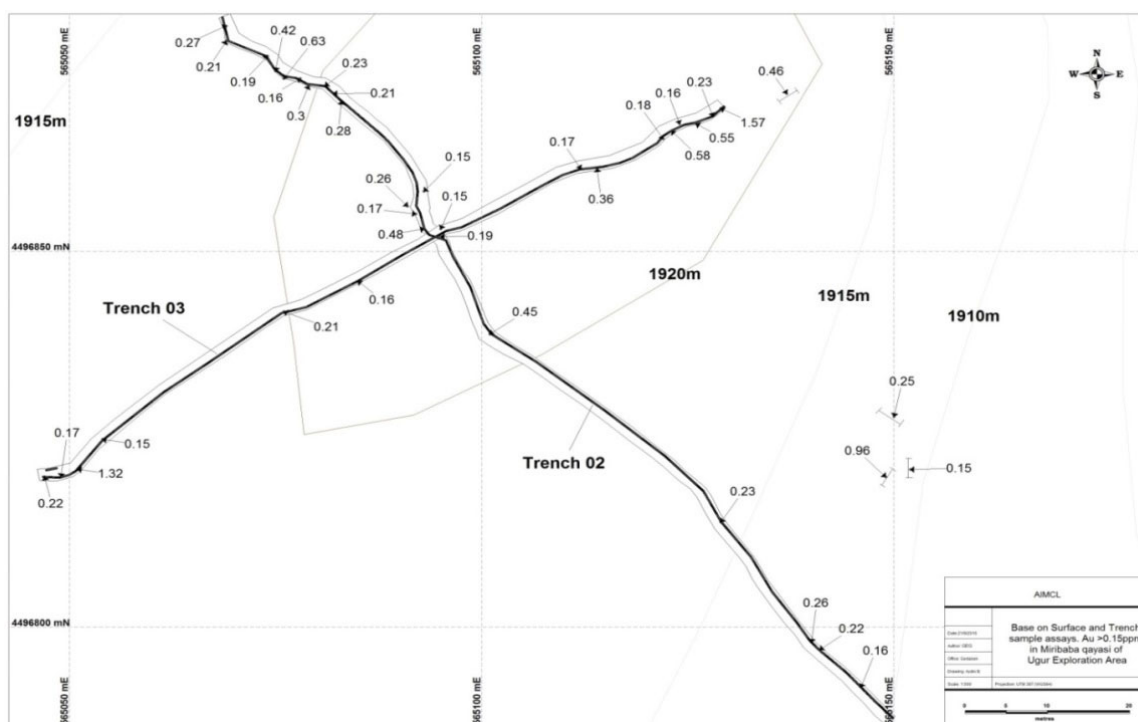


Fig. 4. Base on surface and trenches (T-2 and T-3) samples assays, Au>0.15 ppm in the Reza gold deposit of Ugur Exploration Area

Table 1

Assay results of trenches and channels sampling on the surface of Ugur Exploration area

Sample_id	Au, ppm	Ag, ppm	Cu, %	Zn, %	Easting	Northing	Altitude
UGA-01	4.96	1.5	0.073	0.1069	565888	4497351	1691
UGA-30	0.35	1.3	0.044	0.0600	565813	4497325	1717
UGA-39	4.49	1.3	0.064	0.0874	565886	4497351	1688
UGA-42	0.67	1.5	0.034	0.1006	565958	4497418	1685
UGA-43	3.07	9.9	0.125	0.1375	565961	4497420	1685
UGA-44	2.48	3.5	0.079	0.0903	565963	4497421	1684
UGA-46	0.33	1.7	0.096	0.0993	565965	4497423	1682
UGA-63	0.56	1.5	0.116	0.1844	566148	4497480	1662
UGA-64	0.59	1.5	0.131	0.1387	566147	4497481	1662
UGA-65	0.97	2.1	0.070	0.1561	566118	4497459	1667
UGA-69	0.96	2.4	0.046	0.0223	565684	4497294	1667
UGA-72	1.37	2.3	0.037	0.0576	565658	4497273	1667
UGA-74	0.64	2.9	0.041	0.0374	565622	4497260	1667
UGA-75	1.33	6.6	0.050	0.0375	565595	4497262	1667
UGA-76	0.71	2.2	0.055	0.0724	565569	4497251	1667
UGA-88	0.29	7.7	0.053	0.1536	565310	4496898	1869
UGA-91	0.36	2.8	0.047	0.1277	565310	4496897	1869
UGA-92	0.71	22.1	0.066	0.2127	565309	4496897	1869
UGA-93	0.44	2.9	0.075	0.0990	565308	4496896	1869
UGA-94	0.34	5.1	0.055	0.2089	565308	4496895	1869
UGA-98	0.36	8.2	0.033	0.1403	565310	4496893	1875
UGA-99	0.63	6.3	0.059	0.1967	565311	4496892	1875
UGA-100	0.50	6.0	0.059	0.1458	565314	4496902	1873
UGA-101	0.44	7.6	0.060	0.1487	565311	4496903	1871
UGA-106	0.57	7.0	0.038	0.1107	565321	4496907	1867
UGA-107	0.93	3.9	0.078	0.1457	565323	4496908	1867
UGA-108	0.84	2.9	0.069	0.1489	565323	4496911	1866

Ending table 1

Sample id	Au, ppm	Ag, ppm	Cu, %	Zn, %	Easting	Northing	Altitude
UGA-112	0.60	3.8	0.127	0.1713	565329	4496908	1863
UGA-113	0.32	4.1	0.160	0.2472	565330	4496920	1859
UGA-114	0.88	6.0	0.136	0.1357	565328	4496921	1858
UGA-115	1.36	10.3	0.150	0.2102	565329	4496928	1857
UGA-116	0.45	9.0	0.151	0.2487	565325	4496920	1860
UGA-118	0.99	2.9	0.086	0.1769	565334	4496925	1856
UGA-120	0.44	6.7	0.067	0.1425	565330	4496948	1850
UGA-124	0.31	0.9	0.002	0.0100	565263	4497029	1872
UGA-125	0.42	1.6	0.012	0.0082	565264	4497027	1873
UGA-126	0.65	1.0	0.016	0.0398	565264	4497025	1873
UGA-127	0.58	1.7	0.020	0.0256	565263	4497023	1873
UGA-128	0.76	1.0	0.020	0.0230	565262	4497022	1873
UGA-129	0.46	1.1	0.021	0.0344	565262	4497020	1873
UGA-131	0.71	1.1	0.016	0.0168	565261	4497016	1874

Trenching. Reza gold deposit trenches were dug with the objective of discovering mineral bodies under the unconsolidated cover, sampling and ascertaining the orientation. Two main phases of trenching occurred, with the initial trenching taking place on surface of the deposit, with validation and infill trenching completed by GEG (Fig. 5).

In the aim to identify the gold presence in oxidized secondary quartzite zone on the surface 5 trenches were provided. Trenches were dug by excavator in length between 50 to 170 m the depth of 1.5 m. The trenches were mapped and sampled manually by taking one-to two meter long channel samples. The samples weights ranged between 2–5 kilograms.

The main mineralization targets have been sampled in three trenches at a distance up to 270m by trenches #1, #2 and #3 (Fig. 4) and given good results for gold and silver.

Also approximately 350 samples from outcrop #1 and #2 have been taken.

Rc drilling. In the Reza gold deposit, 55 bore holes were drilled on a 50x50 m grid (Fig. 6) (the results of the analyzes are given in table 2).

RC holes were drilled at an angle of -90 degrees at a diameter 146 mm. The air-flush RC holes were intended to test the extension of the oxidized gold mineralization at depth. Slurry recovery was in the range 80-100%. However, although drilling below the level of ground water is technically feasible, the slurry material is lost and enriched with heavy residues.

Fifty-five RC holes were drilled for a total of 1482 m to test oxide gold mineralization in the central part of the deposit, also in flanks.



Fig. 5. Controlling of exploration surface sampling of trenches Reza gold deposit of Ugur Exploration Area



Fig. 6. Location of UGDD 01 & 02 bore holes at the Reza gold deposit

Table 2

Assay results of RC bore holes of Reza gold deposit, Ugur exploration area (>0.29ppm Au)

hole_id	sample_id	from, m	to, m	length, m	Au, ppm	Ag, ppm	Cu, %	Zn, %
UGRC02	UGRC02-14	13	14	1	0.61	0.83	0.0037	0.0337
UGRC02	UGRC02-15	14	15	1	0.50	1.05	0.0025	0.0296
UGRC02	UGRC02-16	15	16	1	0.38	0.75	0.0036	0.0269
UGRC02	UGRC02-17	16	17	1	0.32	0.76	0.0032	0.0234
UGRC02	UGRC02-20	18	19	1	0.30	0.75	0.0034	0.0290
UGRC03	UGRC03-15	13	14	1	0.44	2.39	0.0323	0.2893
UGRC03	UGRC03-16	14	15	1	0.46	2.96	0.0497	0.3735
UGRC03	UGRC03-17	15	16	1	1.42	3.35	0.0535	0.3302
UGRC03	UGRC03-18	16	17	1	0.89	11.91	0.0481	0.3271
UGRC03	UGRC03-19	17	18	1	1.90	60.18	0.0356	0.3624
UGRC03	UGRC03-20	18	19	1	1.36	55.77	0.0120	0.2446
UGRC03	UGRC03-22	19	20	1	1.11	13.18	0.0170	0.2566
UGRC03	UGRC03-23	20	21	1	0.98	23.36	0.0080	0.2487
UGRC03	UGRC03-24	21	22	1	0.60	8.33	0.0223	0.3277
UGRC03	UGRC03-25	22	23	1	0.43	9.25	0.0253	0.3225
UGRC03	UGRC03-27	24	25	1	0.67	7.23	0.0356	0.2741
UGRC03	UGRC03-28	25	26	1	0.36	10.59	0.0253	0.3404
UGRC04	UGRC04-3	5	6	1	1.01	5.56	0.0038	0.1304
UGRC04	UGRC04-4	6	7	1	0.78	3.63	0.0049	0.1067
UGRC04	UGRC04-15	16	17	1	1.89	9.14	0.0190	0.0835
UGRC04	UGRC04-16	17	18	1	1.90	10.03	0.0246	0.0477
UGRC04	UGRC04-17	18	19	1	2.17	6.76	0.0248	0.1258
UGRC04	UGRC04-18	19	20	1	1.60	14.01	0.0122	0.1175
UGRC04	UGRC04-19	24	25	1	1.93	7.78	0.0119	0.0601
UGRC04	UGRC04-21	25	26	1	1.89	10.15	0.0292	0.0885
UGRC04	UGRC04-22	26	27	1	2.11	20.78	0.0202	0.1019
UGRC05	UGRC05-11	9	10	1	1.75	27.78	0.0344	0.0875
UGRC05	UGRC05-12	10	11	1	1.62	71.70	0.0266	0.0718
UGRC05	UGRC05-13	11	12	1	2.04	36.75	0.0228	0.0735
UGRC05	UGRC05-14	12	13	1	2.10	33.08	0.0209	0.0673
UGRC14	UGRC14-23	20	21	1	10.27	74.53	0.0113	0.0182
UGRC14	UGRC14-25	21	22	1	16.08	46.21	0.0055	0.0019
UGRC14	UGRC14-26	22	23	1	11.08	56.52	0.0070	0.0030
UGRC14	UGRC14-27	23	24	1	2.15	39.04	0.0038	0.0080
UGRC14	UGRC14-28	24	25	1	1.29	22.08	0.0109	0.0062
UGRC14	UGRC14-29	25	26	1	2.10	18.08	0.0130	0.0386
UGRC14	UGRC14-30	26	27	1	3.28	14.90	0.0144	0.0071
UGRC14	UGRC14-31	27	28	1	7.33	28.82	0.0150	0.0281

Diamond drill holes. Ten diamond drill holes, named UGDD 01-10 were drilled in the central part of the deposit. The drill holes were sampled mainly in 1 meter lengths from the top of the hole to the bottom.

The exploratory core holes were drilled at an angle of –90 degrees at a diameter 122.6 mm (PQ) for the first 40–72.5 m. Thereafter, the bore hole diameter was 86 mm, producing 80 or 84 mm diameter cores. The core samples were marked and placed into standard boxes.

Significant intervals of weighted averages greater than 0.29 gramme per tonne gold (ppm) over down hole intervals

of 1 metres or greater (>0.29 ppm Au and >0.9 m) are summarized in table 3 below. Drill hole UGDD02 was the highest grade mineralized of the program, averaging 3.52 ppm Au over a 58.5 m length of the drill hole (Fig. 6). Drill hole UGDD10 was the widest mineralized of the program, averaging 1.23 ppm Au over a 106.5 m length of the drill hole. Other notably mineralized drill holes included UGDD01, UGDD03, UGDD04, UGDD06, UGDD07, UGDD08 and UGDD09. Drill hole UGDD05 was the least mineralized with a best intercept of 0.45 ppm Au for 11–16 m (5 m) and 0.40 ppm Au for 20–25 m (5 m).

Table 3

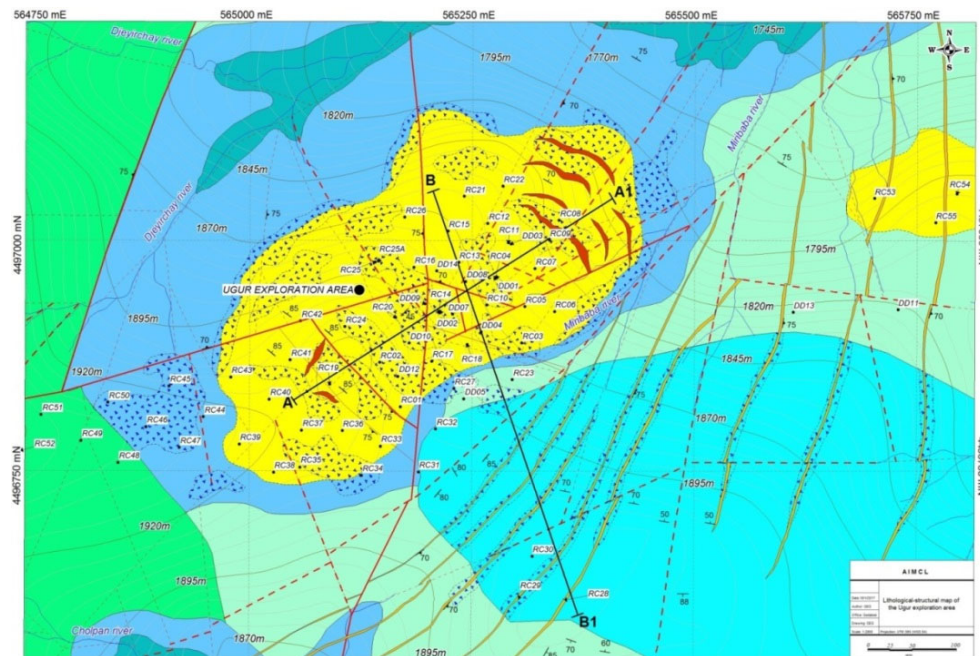
Summary of significant drill intercepts (>0.29 ppm Au) of Reza gold deposit

hole_id	sample_id	from, m	to, m	length, m	Au, ppm	Ag, ppm	Cu, %
UGDD01	UGDD01-17	19.00	20.00	1.00	0.85	23.58	0.0211
UGDD01	UGDD01-18	20.00	21.00	1.00	0.75	18.85	0.0203
UGDD01	UGDD01-19	21.00	22.00	1.00	1.45	25.25	0.0170
UGDD01	UGDD01-20	22.00	23.00	1.00	1.09	19.16	0.0165
UGDD01	UGDD01-21	23.00	24.00	1.00	1.34	10.66	0.0124
UGDD01	UGDD01-33	34.75	35.50	0.75	2.81	8.81	0.0161
UGDD01	UGDD01-34	35.50	36.50	1.00	5.05	4.69	0.0076
UGDD01	UGDD01-35	36.50	37.50	1.00	15.87	1.25	0.0044
UGDD01	UGDD01-36	37.50	38.35	0.85	5.14	0.97	0.0035
UGDD01	UGDD01-37	38.35	39.15	0.80	3.19	1.41	0.0043
UGDD01	UGDD01-38	39.15	40.00	0.85	2.51	1.01	0.0037
UGDD02	UGDD02-04	4.00	5.00	1.00	18.45	31.57	0.0075
UGDD02	UGDD02-05	5.00	6.00	1.00	13.96	28.83	0.0063
UGDD02	UGDD02-06	6.00	7.00	1.00	5.33	16.53	0.0042
UGDD08	UGDD08-42	41.00	42.00	1.00	17.38	64.74	0.0885
UGDD08	UGDD08-43	42.00	42.50	0.50	15.38	53.51	0.0388

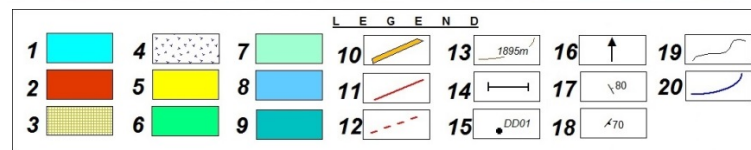
Local geological-structural setting. The gold mineralization in the Reza deposit developed mainly during the Upper Bajocian tectonic-magmatic cycle (Fig. 7).

Tectonic zone is the main host structure for the West (central zone) and East zones of gold mineralization. During Upper Bajocian times, the central tectonic zone was a right-lateral strike-slip fault represented by a number of sub-

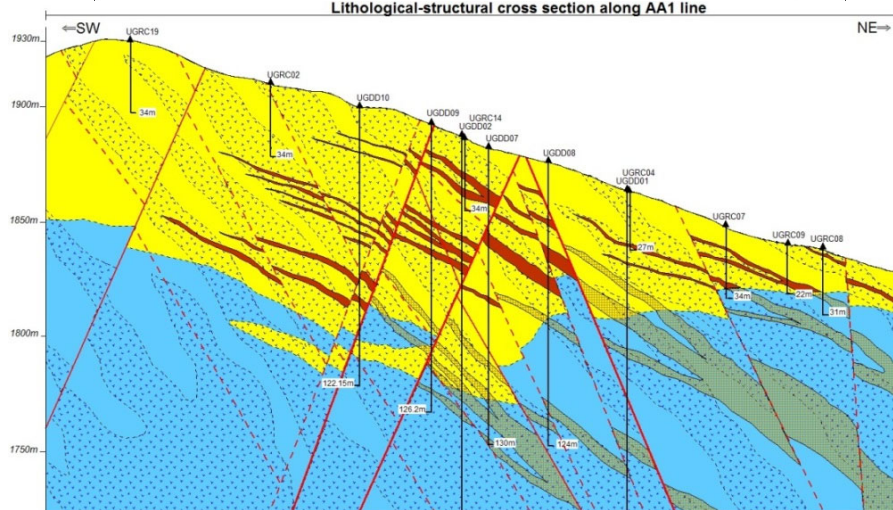
parallel-trending faults (55°–85°) with a combined length of 1–1.5 kilometres. The fault dips are from 70° to 80° to the north-west. The faults of the central zone control the hydrothermal metasomatic alteration, gold mineralization, Upper Bajocian Atabek-Slavyanka plagiogranite massive intrusion, and in some cases are the borders of the elevated tectonic blocks formed by Lower Bajocian volcanic rocks.



a



Lithological-structural cross section along AA1 line



b

Fig. 7. Lithological-structural map (a) of the Reza gold deposit, Ugur exploration area

(scale 1:2800, A3 format, Original scale 1:1 000 (by GEG, 2016)) and lithological-structural cross section along AA1 line (b).

Legend: 1 – andesite tuff agglomerates facie; 2 – gossan; 3 – pyrite stock and stockverk; 6 – breccia zone of silicified andesite porphyritic rocks; 5 – secondary quartzite; 6 – pyroclastic (from small clastic to lapilli) facie of rhyolite-dacite porphyry; 7 – lava facie of rhyolite-dacite porphyry; 8 – silicified andesite porphyritic rocks; 9 – andesite porphyritic rocks; 10 – quartz porphyry zone (weak hematitized, limonitization); 11 – faults; 12 – probably faults; 13 – topographic contour line; 14 – cross section lines; 15 – bore holes points; 16 – bore holes; 17 – deep angle of faults and dykes; 18 – structural elements of rocks; 19 – lithological contact; 20 – rivers

The East tectonic zone is complicated by the occurrence of numerous related faults such as antithetic and synthetic faults, down throw and thrust faults and intense folding due to faulting. The combination of these structures determines the general morphology of both the oxide and primary sulfide mineralization. Where zones of either fracture cleavage or

quartz veinlets occur in drill core, these intervals are described as fault zones. In many cases the intervals of faulting are represented by tectonic breccias in which relics of the host volcanic-sedimentary rocks are cemented by dacitic rock. The tectonic breccias probably formed after emplacement of the sulfide mineralization, during the

formation of the sub-longitudinal faults. The intervals of tectonic breccia exhibit lower gold grades in comparison with zones of fracture cleavage and quartz veinlets.

The Reza gold deposit was emplaced in the intersection of NW, NE, N and E trending structural systems regionally controlled by a first order NW transcurrent structure.

Structure geometry and kinematics determined from surface mapping and drilling information suggest that the volcanic sequence hosted at central part might have been accumulated in a "pull-apart" basin controlled by NW structures. These structures were affected by two compressive deformation processes: the first as a result of the N to the NNE sub-horizontal contraction and the second being formed during a post mineral NW contraction.

Field geological exploration information, cross-cutting relationships between structures, veins and brecciation types and hydrothermal alterations styles suggest that the mineralization was controlled by NW brittle dextral shears, associated with E-W left lateral and N-S pure extensional structures, with all them related to the contraction event within a transpressional regimen.

Deposit type. The Gedabey NW project is a new local ore belt system discovered by GEG while following-up high priority alteration targets in a key mineralization area located in the Gedabey-Bittibulag ore belt of the Gedabey ore district in Azerbaijan. The ore belt contains a series of Jurassic-age porphyry, high-sulfidation and low-sulfidation epithermal gold

deposits and mineralization occurrences. The remote sensing anomalous (in NW and SW) area is believed to remain open in all directions under shallow, post-mineral cover. Deposit alteration signature has characteristics which suggest the current outcrop level may be near the top of a mineralized, gold-bearing high sulfidation epithermal (HSE) system.

The gold mineralization at the deposit is interpreted as forming in shallow high sulfidation epithermal systems (Sillitoe, Hedenquist, 2003; Simmons, 2005; Sillitoe, 2010). The mineralization has been noted to occur in two different styles:

- well-confined hydrothermal breccias;
- associated with pyrite stock-stockwork.

The majority of the deposit material and current estimates are formed within the barite-hematite-quartz-kaoline mineralization in the secondary quartzite rocks.

The main brecciation and stockwork are hosted within secondary quartzite, sometime massive silicified andesite porphyritic rocks.

Outcropping gold mineralization in the project is oxidized with no sulfides recognised at surface. Mineralization is hosted by brecciated, and intense advanced argillically-altered andesitic volcanics and possible domes, including large areas of "powdery" probably alunite-opal alteration (Fig. 8).

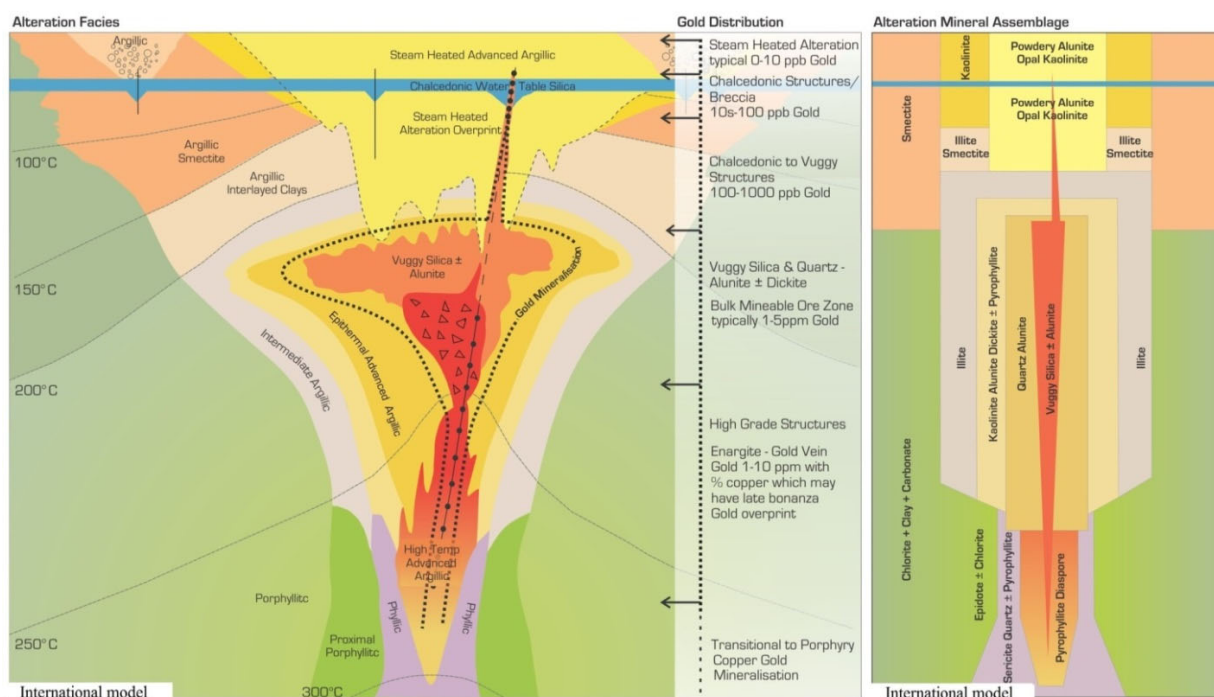


Fig. 8. International high sulfidation epithermal model for the Reza gold deposit

The outcropping alteration at the deposit is typical of the upper steam-heated levels of high-sulfidation epithermal (HSE) deposits, which in most mineralized systems of this type, may cap higher-grade gold mineralization which is hosted by underlying vuggy and oxide zones.

From our current mapping and sampling, the gold mineralization at the deposit appears to form a crescent shape surrounding a "core" of barite-hematite mineralisation in advanced argillically & silicification – altered porphyritic andesite host rock.

Recommended. The objectives and recommended methodology of the next phase of work are outlined below.

✓Stage 1: Re-logging of core and re-interpretation to confirm geology model. Any mineralized exposures that are

open, or were undiscovered, should be systematically sampled and documented.

✓Stage 2: Complete a thorough review and compilation of the database. This should include re-logging of core and standardizing nomenclature for log coding. Data can then be used to build new accurate cross sections for future drill hole planning. Field checks of geologic mapping to verify structural and lithologic interpretations should be completed as warranted. An intrusive suite of samples will be collected for detail petrographic-mineralogical and fluid inclusion studies.

✓Stage 3: All data will be compiled for detailed drill hole planning for initial confirmation drilling.

Список використаних джерел

- Абдуллаев, Р.Н., Мустафаев, Г.В., Мустафаев, М.А. и др. (1988). Мезозойские магматические формации Малого Кавказа и связанное с ними эндогенное оруднение. Баку: Элм.
- Абдуллаева, Ш.Ф. (2018). Вулканогенные золотосодержащие сульфидные месторождения островодужных зон, условия их геодинамического развития, закономерности размещения и критерии прогнозирования (Малый Кавказ). Автореф. дис. ... д-ра наук (науки о Земле): 2520.01. Бакинский Государственный Университет, Баку.
- Баба-заде, В.М. (Ред.). (2005). Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана. Баку: Озан.
- Баба-заде, В.М., Абдуллаева, Ш.Ф. (2012). Благороднометалльные рудно-магматические системы. Баку: изд. "Бакинского Университета".
- Баба-заде, В.М., Имамвердиев, Н.А., Мансуров, М.И. и др. (2019). Определение гидротермально-измененных и минерализованных зон с использованием данных спутника ASTER (Кедабекский рудный район). *Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук*, 1, 69-78.
- Баба-заде, В.М., Кекелия, С.А., Абдуллаева, Ш.Ф. и др. (2017). Золоторудные месторождения, условия их образования и характерные особенности геодинамического развития (Малый Кавказ). Статья I. *Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук*, 1, 83-110.
- Баба-заде, В.М., Кекелия, С.А., Абдуллаева, Ш.Ф., Кекелия, М.А. (2015). Золотосодержащие сульфидные месторождения островодужных палеосистем, их металлогенические особенности и условия геодинамического развития. Баку: CBS.
- Баба-заде, В.М., Кекелия, С.А., Абдуллаева, Ш.Ф., Кекелия, М.А. (2017). Рудные месторождения центрального сегмента альпийского горно-складчатого пояса и проблемы их генезиса (Большой и Малый Кавказ, Восточные Понтиды). Баку: CBS.
- Рамазанов, В.Г., Моритц, Р., Каландаров, Б.Г. и др. (2012). Месторождения благородных и цветных металлов Кедабекского рудного района, перспективы их поисков. *Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук*, 3, 117-133.
- Сулейманов, С.М., Алиев, В.И. (1977). Фации и минеральные типы вторичных кварцитов Кедабекского рудного района. *Ученые записки АГУ, сер. геол.-геоэ. наук*, 2, 3-11.
- Adamia, Sh., Zakariadze, G., Chkhotua, T. et al. (2011). Geology of the Caucasus: a review. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20, 489-544.
- AIMC Gedabey Exploration Group (GEG). (2014). Report about the results and future planning of the perspective areas (Au, Ag, Cu, Mo, Zn) of Gedabey Ore District, Gedabey.
- Baba-zadeh, V.M., Mursalov, S.S., Veliyev, A.A., Imamverdiyev, N.A. et al. (2019). Geochemical anomalies in the NW flank of Gedabey mine (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *International Journal of Mining Science (IJMS)*, 5, 1, 31-42. ISSN 2454-9460.
- Baba-zadeh, V.M., Veliyev, A.A., Abdullayeva, Sh.F. et al. (2015). New perspective Gadir mineralization field in Gedabey ore region. *Reports of National Academy of Sciences of Azerbaijan*, 2, 74-79.
- Guseynov, G., Valiyev, A., Mammadov, S., Bayramov, A. (2014). Mineralization of the Gedabey gold-copper deposit, (Lesser Caucasus). *8th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, October 13-17, 2014, Mugla, Turkey*, 116.
- Hemon, P., Moritz, R., Ramazanov, V., Spangenberg, J. (2012). The Gedabey ore deposit: A Lower Cretaceous epithermal system within the Lesser Caucasus of western Azerbaijan. *Society of Economic Geologists Conference, September, 2012, Lima, Peru. Abstract Volume*, Poster 50.
- Hemon, P., Moritz, R., Ramazanov, V. (2013). The Gedabey epithermal Cu-Au deposit, Lesser Caucasus, Western Azerbaijan: Geology, alterations, petrography and evolution of the sulfidation fluid states. *Conferens on recent research activities and new results about the regional geology, the geodynamics and the metallogeny of the Lesser Caucasus. A SCOPES meeting, Tbilisi*, 19-20.
- Moritz, R., Selby D., Popkhadze, N. et al. (2016). Metallogeny of the Lesser Caucasus: From Arc Construction to Postcollision Evolution. *Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication*, 19, 157-192.
- Novruzov, N., Valiyev, A., Bayramov, Ay. et al. (2019). Mineral composition and paragenesis of altered and mineralized zones in the Gadir low sulfidation epithermal deposit (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Iranian Journal of Earth Sciences*, 11, 1, 14-29.
- Sillitoe, R.H. (2010). Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105, 3-41.
- Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W. (2003). Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 10, 315-343.
- Simmons, S.F., White, N.C. John, D.A. (2005). Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. *Economic Geology*, 100th Anniversary Volume, 485-522.
- Valiyev, A., Bayramov, A., Mammadov, S., Mursalov, S. et al. (2016). Structural Geology, Lithology, Mineralization, and New Perspectives on the Gadir Low-Sulfidation Deposit, Gedabey District; a Newly Discovered Orebody in the Tethyan Metallogenic Belt, Lesser Caucasus, Azerbaijan. *Society of Economic Geologists, Inc. SEG Conference, Chesme, Izmir, Turkey*.
- Valiyev, A., Bayramov, Ay., Ibrahimov, J. et al. (2018). Geological Setting and Ore Perspective of the New Discovered Gadir Low Sulfidation Epithermal Deposit, Gedabey NW Flank, Lesser Caucasus, Azerbaijan. *Universal Journal of Geoscience*, 6(3), 78-101.
- References
- Abdullaev, R.N., Mustafaev, G.V., Mustafaev, M.A. et al. (1988). Mesozoic igneous formations of the Lesser Caucasus and related endogenous mineralization. Baku: Elm. [in Russian]
- Abdullaeva, Sh.F. (2018). Volcanogenic gold-bearing sulfide deposits of island-arc zones, conditions for their geodynamic development, patterns of distribution and forecasting criteria (Small Caucasus). *Extended abstract of Doctor's thesis (Earth Sci.): 2520.01*. Baku State University, Baku. [in Russian]
- Adamia, Sh., Zakariadze, G., Chkhotua, T. et al. (2011). Geology of the Caucasus: a review. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20, 489-544.
- AIMC Gedabey Exploration Group (GEG). (2014). Report about the results and future planning of the perspective areas (Au, Ag, Cu, Mo, Zn) of Gedabey Ore District, Gedabey.
- Baba-zadeh, V.M. (Eds.) (2005). Mineral resources of Azerbaijan. Baku: Ozan. [in Russian]
- Baba-zadeh, V.M., Abdullaeva, Sh.F. (2012). Noble metal ore-magical systems. Baku: Baku University. [in Russian]
- Baba-zadeh, V.M., Imamverdiyev, N.A., Mansurov, M.I. et al. (2019.). Detection of hydrothermally altered and mineralized zones using ASTER materials (Kedabek ore district). *Baku University News. Series of Natural Sciences*, 1, 69-78. [in Russian]
- Baba-zadeh, V.M., Kekelia, S.A., Abdullaeva, Sh.F. et al. (2017). Gold ore deposits, the conditions of their formation and the characteristic features of geodynamic development (Lesser Caucasus). Article I. *Baku University News. Series of Natural Sciences*, 1, 83-110. [in Russian]
- Baba-zadeh, V.M., Kekelia, S.A., Abdullaeva, Sh.F., Kekelia M.A. (2017). Ore deposits of the central segment of the alpine mountain-folded belt and problems of their genesis (Greater and Lesser Caucasus, East Pontids). Baku: CBS. [in Russian]
- Baba-zadeh, V.M., Kekelia, S.A., Abdullaeva, Sh.F., Kekelia, M.A. (2015). Gold-bearing sulfide deposits of island-arc paleosystems, their metallogenic features and conditions of geodynamic development. Baku: CBS.
- Baba-zadeh, V.M., Mursalov, S.S., Veliyev, A.A., Imamverdiyev, N.A. et al. (2019). Geochemical anomalies in the NW flank of Gedabey mine (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *International Journal of Mining Science (IJMS)*, 5, 1, 31-42. ISSN 2454-9460.
- Baba-zadeh, V.M., Veliyev, A.A., Abdullayeva, Sh.F. et al. (2015). New perspective Gadir mineralization field in Gedabey ore region. *Reports of National Academy of Sciences of Azerbaijan*, 2, 74-79.
- Guseynov, G., Valiyev, A., Mammadov, S., Bayramov, A. (2014). Mineralization of the Gedabey gold-copper deposit, (Lesser Caucasus). *8th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, October 13-17, 2014, Mugla, Turkey*, 116.
- Hemon, P., Moritz, R., Ramazanov, V., Spangenberg, J. (2012). The Gedabey ore deposit: A Lower Cretaceous epithermal system within the Lesser Caucasus of western Azerbaijan. *Society of Economic Geologists Conference, September, 2012, Lima, Peru. Abstract Volume*, Poster 50.
- Hemon, P., Moritz, R., Ramazanov, V. (2013). The Gedabey epithermal Cu-Au deposit, Lesser Caucasus, Western Azerbaijan: Geology, alterations, petrography and evolution of the sulfidation fluid states. *Conferens on recent research activities and new results about the regional geology, the geodynamics and the metallogeny of the Lesser Caucasus. A SCOPES meeting, Tbilisi*, 19-20.
- Moritz, R., Selby D., Popkhadze, N. et al. (2016). Metallogeny of the Lesser Caucasus: From Arc Construction to Postcollision Evolution. *Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication*, 19, 157-192.
- Novruzov, N., Valiyev, A., Bayramov, Ay. et al. (2019). Mineral composition and paragenesis of altered and mineralized zones in the Gadir low sulfidation epithermal deposit (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Iranian Journal of Earth Sciences*, 11, 1, 14-29.
- Sillitoe, R.H. (2010). Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105, 3-41. [in Russian]
- Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W. (2003). Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 10, 315-343.
- Simmons, S.F., White, N.C. John, D.A. (2005). Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. *Economic Geology*, 100th Anniversary Volume, 485-522.
- Suleymanov, S.M., Aliiev, V.I. (1977). Facies and mineral types of secondary quartzites of the Kedabek ore district. *Uchenye Zapiski ASU. Series geol.-geogr. Sciences*, 2, 3-11. [in Russian]
- Valiyev, A., Bayramov, A., Mammadov, S., Mursalov, S. et al. (2016). Structural Geology, Lithology, Mineralization, and New Perspectives on the Gadir Low-Sulfidation Deposit, Gedabey District; a Newly Discovered Orebody in the Tethyan Metallogenic Belt, Lesser Caucasus, Azerbaijan. *Society of Economic Geologists, Inc. SEG Conference, Chesme, Izmir, Turkey*.
- Valiyev, A., Bayramov, Ay., Ibrahimov, J. et al. (2018). Geological Setting and Ore Perspective of the New Discovered Gadir Low Sulfidation Epithermal Deposit, Gedabey NW Flank, Lesser Caucasus, Azerbaijan. *Universal Journal of Geoscience*, 6(3), 78-101.

Н. Імамвердієв¹, д-р геол.-мінералог. наук, проф.,

E-mail: inazim17@yahoo.com;

В. Баба-заде¹, д-р геол.-мінералог. наук, проф., академік НАН Азербайджану,

E-mail: vbabazade1938@mail.ru;

С. Мурсалов², горний геолог,

E-mail: samir.m.s@mail.ru;

А. Валієв², PhD (науки про Землю), гол. геолог,

E-mail: velizade_anar@yahoo.com;

М. Мансуров¹, канд. геол.-мінералог. наук, доц.,

E-mail: mamou_mansurov@mail.ru;

А. Ісмаїлова¹, PhD (науки про Землю), доц.,

E-mail: aygun46@mail.ru;

¹Бакинський державний університет, вул. 3. Халілова, 23, м. Баку, Az 1148, Азербайджан;

²Азербайджанська міжнародна рудна компанія, м. Баку, Азербайджан

ПЕРСПЕКТИВИ ОСВОЄННЯ НОВОГО РУДНОГО ВУЗЛА УГУР НА ПІВНІЧНОМУ ЗАХОДІ КЕДАБЕКЬСЬКОГО РУДНОГО РАЙОНУ (МАЛИЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)

Описано рудний вузол Угур, розташований на північному заході Кедабекського рудного району Малого Кавказу в республіці Азербайджан. Наведено результати аналізу проб, відібраних з відкритих гірничих виробок (траншей, канає), зі свердловин, пробурених методом РС, а також зведені дані про рудні перетини із значущим вмістом золота ($>0,29$ ррт). Встановлено, що площа рудного вузла може бути збільшена за рахунок високих вмістів золота і срібла в бороздовій і штупфних пробах на 2,5 км у широтному і на 2 км у довготному напрямках; при цьому золоторудне родовище Реза приурочено до центральної частини рудного вузла. З рудних мінералів присутній кристалічний гематит. Ближче до земної поверхні спостерігаються інтенсивні баритові і барит-гематитові прожилки, а також зустрічається залізний капелюх сульфідних покладів. У ході розвідувального випробування головних зон мінералізації, розкритих траншеями № 1, 2, 3, які розташовані на відстані до 270 м одна від одної, у відібраних зразках було виявлено промислові вмісти золота і срібла. Також було відібрано близько 550 зразків з оголень № 1 і № 2. У місцях виходу основного рудного тіла на денну поверхню спостерігаються вторинні кварцити з барит-гематитовими прожилками, над якими збереглися скупчення гідроксидів заліза, що цементують брекчії кварцу і кварцитів. А на ділянках з інтенсивно виявленим вивітрюванням зустрічається "червона маса", що є продуктом окиснення гематитових штоків і штокерків. Являючи собою типові залізни капелюхи сульфідних покладів, ці, розкриті в канавах, рудні скупчення, мають потужність близько 5–10 м з вмістом золота 0,3–2,0 ррт і срібла 1,0–15,0 ррт. У центральній частині родовища було пробурено алмазним бурінням десять свердловин (UGDD 01–10). Свердловини випробовувалися цілком і безперервно, а довжини проб в основному становили 1 метр.

Значущі інтервали з довжинами проб 1 м і більше та із середньозваженими вмістами, що перевищують 0,29 ррт ($>0,29$ ррт і $>0,9$ м), узагальнено в таблиці. Зроблено висновок про те, що характер навколорудних гідротермально-метасоматичних змін вмісних порід, що зустрічається на даному родовищі, типовий для верхніх рівнів високосульфідних епітермальних родовищ, що зазнали обробки паром. Даний тип гідротермальних змін у більшості рудних систем може перекидати інтервали з кавернозними і окисними зонами, що містять більш багату золоторудну мінералізацію.

Ключові слова: рудний вузол Угур; зони мінералізації; вміст золота, срібла, міді, цинку; Кедабекський рудний район; Малий Кавказ.

Н. Имамвердиев¹, д-р геол.-минералог. наук, проф.,

E-mail: inazim17@yahoo.com;

В. Баба-заде¹, д-р геол.-минералог. наук, проф., акад. НАН Азербайджана,

E-mail: vbabazade1938@mail.ru;

С. Мурсалов², горный геолог,

E-mail: samir.m.s@mail.ru;

А. Валиев², PhD (науки о Земле), гл. геолог,

E-mail: velizade_anar@yahoo.com;

М. Мансуров¹, канд. геол.-минералог. наук, доц.,

E-mail: mamou_mansurov@mail.ru;

А. Исмаилова¹, PhD (науки о Земле), доц.,

E-mail: aygun46@mail.ru;

¹Бакинский государственный университет, ул. 3. Халилова, 23, г. Баку, Az 1148, Азербайджан

²Азербайджанская международная рудная компания, г. Баку, Азербайджан

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ НОВОГО РУДНОГО УЗЛА УГУР НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ КЕДАБЕКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)

Описан рудный узел Угур, расположенный на северо-западе Кедабекского рудного района Малого Кавказа в республике Азербайджан. Приведены результаты анализа проб, отобранных из открытых горных выработок (траншей, канае), из скважин, пробуренных методом РС, а также сводные данные о рудных пересечениях со значимыми содержаниями золота ($>0,29$ ррт). Установлено, что площадь рудного узла может быть увеличена за счет высоких содержаний золота и серебра в бороздовом и штупфных пробах на 2,5 км в широтном и на 2 км в долготном направлениях; при этом золоторудное месторождение Реза приурочено к центральной части рудного узла. Из рудных минералов присутствует кристаллический гематит. Ближе к земной поверхности наблюдаются интенсивные баритовые и барит-гематитовые прожилки, а также встречается железная шляпа сульфидных залежей. В ходе разведочного опробования главных зон минерализации, вскрытых траншеями № 1, 2, 3, находящихся на расстоянии до 270 м друг от друга, в отобранных образцах были выявлены промышленные содержания золота и серебра. Также было отобрано около 550 образцов из обнажений № 1 и № 2. В местах выхода основного рудного тела на дневную поверхность наблюдаются вторичные кварциты с барит-гематитовыми прожилками, над которыми сохранились скопления гидрооксидов железа, цементирующих брекчии кварца и кварцитов. А на участках с интенсивно проявленным выветриванием встречается "красноватая масса", являющаяся продуктом окисления гематитовых штоков и штокерков. Представляя собой типичные железные шляпы сульфидных залежей, эти, вскрытые в канавах, рудные скопления имеют мощность около 5–10 м с содержаниями золота 0,3–2,0 ррт и серебра 1,0–15,0 ррт. В центральной части месторождения были пробурены алмазным бурением десять буровых скважин (UGDD 01–10). Скважины опробовались целиком и непрерывно, а длины проб в основном составляли 1 метр.

Значимые интервалы с длинами проб в 1 м и более и со средневзвешенными содержаниями, превышающими 0,29 ррт ($>0,29$ ррт и $>0,9$ м), обобщены в таблице. Сделан вывод о том, что характер окколорудных гидротермально-метасоматических изменений вмещающих пород, встречающийся на данном месторождении, типичен для подвергшихся обработке паром верхних уровней высоко-сульфидных эпитеермальных месторождений. Данный тип гидротермальных изменений в большинстве рудных систем может перекидывать интервалы с кавернозными и окисными зонами, содержащими более богатую золоторудную минерализацию.

Ключевые слова: рудный узел Угур; зоны минерализации; содержание золота, серебра, меди, цинка; Кедабекский рудный район; Малий Кавказ.

UDC 553.3/.4

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.07>

T. Kharytonova, Dr. Sci. (Law), Prof.,

ORCID iD 0000-0002-7998-5089,

E-mail: haritonova@onua.edu.ua,

National University "Odesa Law Academy",

23 Fontanska road, Odesa, 65009 Ukraine;

V. Nosik, Dr. Sci. (Law), Prof.,

ORCID iD 0000-0003-3483-4575,

E-mail: vnosik@ukr.net,

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Law,

64/13, Volodymyrska Str., Kyiv, 01601 Ukraine;

A. Kostruba, Dr. Sci. (Law), Prof.,

E-mail: anatolii.kostruba@pnu.edu.ua,

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk,

57 Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018 Ukraine;

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

E-mail: vladvam@gmail.com;

M. Kurilo, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,

E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua;

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,

90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

THE CORRELATION BETWEEN LAND AND SUBSOIL USE WHEN USING UNDERGROUND SPACE

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук О.І. Меньшовим)

There is a strong bonding of categories when we are to consider problems connected with land. The constant development of social relations brings the necessity to notice what is vital for the legislation to follow those changes. In that order, there is unambiguity in resolving land disputes, particularly about subsoil use. The spatial use of land rights raises a question of clear legislative criteria for their application. For us, it refers to the consideration of the "upper" and "lower" limits of rights distribution. Accordingly, this article investigates the rules of legislation for land and subsoil use. The object of the study is legal problems arising from social relations regarding land and subsoil use. As for the methodology, the following methods were used: analysis, synthesis, deduction, induction, abstraction, generalization, historical and legal methods, formal-legal (dogmatic) method, comparative-legal and sociological-legal methods, legal modeling, and critical-legal method. It has been concluded that domestic legal doctrine includes two approaches to the distribution of owner's rights for the underground space. Additionally, there is a problem of legal demarcation between land and subsoil use. As a result of the study, we offer some ways to solve this issue.

Keywords: subsoil, subsoil code, land use, property rights, urban planning.

Formulation of the problem. We consider the exploration of property rights to land and subsoil use as such of a great scientific and practical value. This consideration also consists of such aspects as spatial boundaries of the ownership.

It follows, that relationships between owners and other people in this area should have sufficient legal regulation. Per contra, there is no legal definition of delimitation between land and subsoil use. By meaning this, it brings lots of misunderstanding when things get practical. For example, Ukraine's legislation restricts using land to certain spatial boundaries. Likewise, "upper" and "lower" limits have no clear principles and criteria in the law. On the contrary, the distribution of rights to use the airspace has well-established legal regulation in Ukraine, while the boundaries separating land plots from subsoil have no explanation in law. Speaking of the underground construction, it leads to conflicts like those whether a certain landlord has a right for subsoil use. For example, Part 3 of Art. 373 of the Civil Code of Ukraine (2003) (hereinafter – CCU) provides that the ownership of land extends to the surface (soil) layer within the owner's area. It includes water bodies, forests, perennials, as well as the space above and below the surface of the site, height, and depth, which are necessary for the construction of residential, industrial, and other buildings and structures. At the same time, Part 5 of Art. 373 of CCU establishes that the owner can use everything that is above and underground, i.e. below the surface of the soil, unless the law provides otherwise and if it does not violate the rights of others. Then the question arises whether Part 3 and Part 5 of the Art. 373 of CCU are contradictory or not. In this case, we need to look closely at the wording of the law. It follows, that landowners may use everything above and below the surface of the land at their discretion unless otherwise is provided, and if it does not violate the rights of others. This right extends on the land

parcel, the airspace above it, the soil, subsoil, etc. From this point of view, it may seem that the right of ownership of land implies the limitless right of the owner to use it, which is not original in domestic law, as there must be certain restrictions from a technical point of view to such use.

The categories of land and subsoil use are of great importance for the domestic doctrine of land law. The reason for this is that they are part of a more general concept of a common natural environment. By stating that, we mean that they are interrelated and play essential environmental and legal role in the field of land and natural resources law. Through land use, we obtain physical access to all subsoil resources such as minerals, gems, stones, water, underground space, etc. But the crucial thing to note here that the ownership of subsoil (and relevant resources) belongs to the people of Ukraine, and landowners may be specific individuals. Except for civil law, current legislation has demarked legal regimes of land and subsoil use. In particular, the law establishes land and subsoil private ownership. However, the current legislation does not provide an opportunity to resolve such conflicts unambiguously. Consequently, it is of great validity to determine the boundaries of the subsoil area usage.

Research methodology. We used general and specific scientific methods for the study. For example, the general methods are analysis, synthesis, deduction, induction, abstraction, and generalization. We should discuss also in more detail the specific methods used in the work, since they were of prominent efficacy during the writing of the essay. Consequently, it should be noted that in the methodological arsenal of jurisprudence there are only a few special methods of cognition regarding the legal reality, namely:

- historical-legal method;
- formal-legal (dogmatic) method;

- comparative-legal method;
- sociological-legal method;
- as well as the method of legal modeling.

In addition, special attention should be paid to the critical-legal method as the method of legal cognition. Thus, we recall that from a philosophical point of view, criticism is a test of scientific judgment for its truth. Therefore, the term "criticize" means to question the truth of a judgment (in our case – a legal statement).

Scientific criticism is one of the most significant processes of attaining scientific knowledge, which is to verify the compliance of theoretical provisions with the criteria of truth, objectivity, provability, verifiability, and more. The role of critique in its application to new data, ideas, notions, and theories is of distinctive importance.

Knowledge has weight only after it passes the challenges of criticism, remaining convincing, undeniable, and true. All legal theories, principles, and statements must be criticized, proven to be viable, and updated. Therefore, the critical-legal method is often described as such of fundamental value. Therefore, concerning this study, not only contradictory scientific positions are subjected to critical analysis, but also the current legislation, which does not always correspond to modern substances in the field of subsoil and land use.

Analysis of recent research and publications. As the article was in development, various works of both Ukrainian and foreign scientists were analyzed. Those works are devoted to the problems of legal regulation of social relations that are emerging in the fields of subsoil use, land use, and urban planning.

Special attention was paid to the following authors: Chyryk (2019), Dimitriev (2011), Gaiko (2014), Ignatenko (2015), Kalinichenko (2016), Kirin (2017a; 2017b), Kolotinskaya (1986), Kulynych (2011; 2014; 2015), Miroshnichenko (2011), Naumov (1928), Voronina (2008).

Highlighting previously unselected parts of the overall problem. Meanwhile, analyzing domestic and foreign legal doctrine, it is possible to conclude that currently in the literature and legal framework of the state, there is no clear answer to the question of where the "lower" limit of the rights of owners and users of land is, and there is a problem of legal delimitation the concepts of "subsoil use" and "land use". It is these two aspects that determine the relevance of this article.

Setting the goals of the article. The article aims to define a clear distinction between the concepts of "subsoil use" and "land use" and to find an answer to the question of where the "lower" limit of the rights of owners and users to land.

Thus, based on the goals of the study, it seems possible to form the following tasks:

- 1) to find a solution to the problem of legal delimitation of the concepts of "subsoil use" and "land use";
- 2) to determine the optimal method of delimitation of land plots and subsoil located underground, and;
- 3) to establish the most acceptable legal regime for the use of underground for urban needs.

Research results. It is worth mentioning that the complex issue of establishing boundaries and determining the legal regime of land and scholars have studied subsoil since the XIX century. As a result of such inquiries, the following scientific concepts concerning the decision of the specified question were formed.

The first one is the concept of indivisibility of land and subsoil, meaning land and subsoil have/should have a joint legal regime). Particularly, some authors deny the fundamental possibility of qualifying the subsoil as an independent object of legal definition. Consequently, Kalinichenko (Kalinichenko, 2016) states in his thesis that

subsoil legislation does not allow to determine where the boundary between the land and the subsoil is. In her opinion, it is necessary to refuse recognition of the subsoil area as an independent object of the property rights and to include it in the model of the land plot.

Dimitriev (2011) takes a resemblant position. According to him, the subsoil area in its characteristics is nothing but an integral part of the land plot. He also takes the stand that when we discuss the concept of subsoil area, we should not argue about subsoil as a separate object of civil rights, but about the specific real right to use the land plot in terms of minerals contained in its subsoil.

The second approach to the questioned dichotomy is the concept of separation of land and subsoil, meaning land and subsoil have/should have a separate legal regime.

In turn, here appears a call to identify what is the essence of terms, if land and subsoil are separate categories.

It should also be noted, that scientists and lawmakers have no joint opinion on this issue.

In some countries, there is a clear delimitation of the surface of the earth, which we are used to calling "land", and the line from which the subsoil begins. For example, under Polish law, the boundary between the surface and the subsoil runs at a depth of 30 m. The scope of mining legislation and the competence of mining authorities include issues related to the extraction of minerals, their exploration, etc., wherever they occur, as well as the use of the globe's surface for other purposes at a depth of more than 30 m. It can be debated that Polish lawmakers were not pioneers in establishing such a method of differentiating land and subsoil. Consequently, back in 1925, the Venezuelan Mining Law clearly distinguished the concepts of "surface" and "subsoil", meaning the first top layer of earth to a depth of 3 m. It also provided that the owner of the land should not bore deeper than that. In the latter case, the term "surface" is defined, concerning a particular case by the relevant governmental authority for the safety of surface structures. Hence, it is clear, that subsoil begins where the surface ends (Voronina, 2008; Naumov, 1928).

Whereas in contrast, an unambiguous legislative definition of the boundaries of land and subsoil can cause numerous problems associated with the actual impossibility of compliance with these requirements in individual cases. In particular, Navrotska (1976) considers that the upper limit of the subsoil should be considered not just the earth's surface, but the "conditional surface" of the land's territory, bearing in mind the location of the object (autonomous use of the underground environment) and the purpose of the earth's surface. It follows that the boundaries of subsoil and land should be set each time alone, taking into account the specifics of the case.

Therefore, subsoil and land are not just objects that replace each other in space, but objects, each of which takes its place in economic activity. Therefore, relations on the use of subsoil and land differ, above all, in content. It seems that this approach to the delimitation of land and subsoil can be considered as one of the most appropriate.

The use of the underground space can be acknowledged as a continuation of land use, especially when it comes to meeting personal non-commercial demands. This sort of land use can similarly be compared to assuring the right to leisure and recreation. Such practices incorporate all other kinds of general subsoil use other than direct extraction of metals, crystals, gems, etc., from the subsoil. It involves ecological tourism, paleontological objects usage, unique minerals sampling, scientific and educational activities, speleology, mountaineering, etc.

There is a necessity to examine the problem of establishing the spatial boundaries of land rights in the context of urban planning. In this context, a feasible question emerges: what specific right is acquired by the owner – the property right to use underground space to a certain extent? Alternatively, the right to build underground structures? Consequently, to address these proposals, it is vital to probe in more detail the current legislation on subsoils.

In this way, Art. 4 of the Subsoil Code of Ukraine (1994) establishes that subsoil is the exclusive property of the people of Ukraine and it is provided use-only. Agreements or actions that directly or implicitly violate the ownership of the people of Ukraine in the field of subsoil ownership are invalid. The people of Ukraine exercise their ownership through the Verkhovna Rada of Ukraine, the Verkhovna Rada of the Autonomous Republic of Crimea, and local councils.

The Subsoil Code of Ukraine (Article 14) distinguishes geological examination of subsoil among the varieties of subsoil use, including research and industrial development of mineral deposits of national importance; mining; construction and operation of underground facilities not related to the extraction of minerals, including facilities for underground storage of oil, gas and other substances and materials, disposal of harmful substances and industrial waste, and wastewater discharge; creation of geological territories and objects of important scientific, cultural, sanitary and health significance (scientific landfills, geological reserves, sanctuaries, natural monuments, medical, health facilities, etc.); performance of works (activities) provided in the shared production agreement; meeting other needs.

According to the contemporary national enactment, there are several ways to use the subsoil, among which a special place is occupied by the underground construction. The right to use subterranean cavities as a legal structural component of the right of subsoil use is a system of legal norms governing public relations in the field of extraction of useful properties of underground cavities, their types, procedure, and conditions of design, construction (creation), operation and termination (conservation, liquidation) of use. In some sense, it can be clarified, that we can withdraw underground, or subterranean, law as an integral part of subsoil law, which is also mining and geological law (Kirin, 2017).

Therefore, the foregoing considerations designate that the relationship of land use (on land, above, and underground) is the same and should not be governed by different branches of law. Otherwise, problems and conflicts occur inescapably. As we can witness, there is a broad gap between reality and the law. Outdated conservative legislation focuses on the period when only land resources could be the spatial basis. However, subsoil began to be used for the installation and maintenance of underground structures not associated with the extraction of minerals along with scientific advancements (Kolotinskaya, 1986).

Contemporary scientific development permits solving the above problems with the help of vertical zoning, which will allow not only using the surface space in the planning process but also underground as a geospatial resource. Qualitatively new spatial, aesthetic, and ecological characteristics can be created due to the improvement of "vertical zoning" in multifunctional aspects with the integrated use of underground space as the preconditions for the formation of urban ensembles. Therefore, the advancement of the underground space of megacities should be carried out on the principle of not only "horizontal" but also "vertical" zoning of underground layers (Ignatenko, 2015).

Such activities as "urban planning" and "subsoil use" often go indistinguishable nowadays in Ukraine. This way, it can be argued that this standpoint complicates the rational use of geological resources (Gaiko, 2014). In turn, it would be appropriate to determine what is meant under this concept. In most cases, it is the subsoil and the associated resources. They are objectified to the law. Subsoil resources are considered to be solid, liquid, gaseous minerals, energy resources, and subsoil cavities of natural and artificial origin. Usually, researchers divide them into 6 categories (Rudko et al., 2012):

1. Mineral deposits:

- deposits of solid, liquid, gaseous minerals of homogeneous composition;
- complex deposits of solid, liquid, gaseous minerals, represented by nearby deposits with significantly different material composition. The development of such facilities is carried out jointly with a single system of mine workings, and the processing of extracted minerals of different compositions is carried out separately or according to different technological schemes.

2. Dumps of overburden rocks, heaps of coalmines, and warehouses of off-balance-sheet minerals.

3. Waste from mining, processing, and metallurgical plants.

4. Deep sources of the fresh, mineral, and thermal water.

5. The internal, deep heat of the Earth's subsoil (geothermal resources, i.e. part of the solid, liquid, and gaseous phases of the earth's crust, which can be effectively extracted from the subsoil and used at the actual level of geothermal energy technology).

6. Natural and artificial cavities in the massif of rocks.

Not all subsoil resources are systematically considered as objects of law according to domestic legislation. Traditionally, most legal approaches and methods relate to minerals (their geological study and extraction). The legal regulation of mining tools is less detailed but sufficiently developed for the construction and operation of underground structures, which use not only the subsoil cavities but also such properties of the geological environment as the stability of the massif, favorable engineering, and geological conditions, etc. It is meant, that to consider separately the type of subsoil use for the creation of geological territories and objects of important scientific, cultural, sanitary, and health significance means to acknowledge the association with the satisfaction of intangible human needs. This type of subsoil use can be closely related to the field of land use in cases where geological objects are located on the daylight surface.

It can also be shown that legislative uncertainty regarding the rights to use land and subsoil must be discharged. To be specific, this demand befalls due to the calls of those land and subsoil users who manage the same part of the territory independently for different purposes. However, such use cannot be completely independent as the use of the subsoil area automatically imposes some restrictions on the use of the land plot above it. The use of the subsoil area below imposes restrictions on the use of the subsoil area above (Voronina, 2008).

It is required for the introduction of the vertical zoning model that a rather substantial revision of other theoretical and practical aspects of the regulation of these relations can be legally provided. It is likewise expected of the approach to the legal regime of "non-land real estate" to be rethought in order to define a land plot as a certain part of the space to which the rights of the owner of the surface or certain exclusive rights to use such space apply. There is no necessity also to deny individual ownership to the same part

of space. As an example, let us imagine that there is a multi-story residential building on a communal or state property land plot, which is sometimes considered as a separate real estate with a corresponding certificate, or license, of ownership of developers or other persons to apartments in it. It can be debated that the so-called "tripling" of property rights occurs in this case. The current domestic legislation does not contain unambiguous answers to the issues of the nature of the "spatial rights" of landowners, meaning they are not yet fully substantiated. Therefore, it is crucial to set the spatial boundaries of the rights of landowners and owners of other objects above and below the earth's surface. But how can this be done?

The first option is to ascertain property rights or obligatory relations. If we accept the idea of owner's rights as infinite "up and down", all issues concerning the use of space above and underground could be resolved easily with the help of such civil law tools as servitude, superficies, or other obligation. If such practice is permitted according to the planning documentation, another person may come with the management of these spaces only by agreement with the owner (user) of the land plot. It can be argued that in this particular case, the owner's rights "absorb" this space, hence they are: 1) in the sphere of domination of the owner; 2) covered by the regime of this land as real estate. An example is the construction of a multi-story building, which involves the development of underground spaces (laying the foundation, installation of underground parking, underground shopping facilities, etc.).

If terrestrial, above-ground, and underground spaces intend to be used by different persons, the "spatial conflict" can be hypothetically resolved in the sense of land-easement relations. However, here the question of recognition arises: who is the owner and who is the servitude? Consequently, which of the persons was the first to register the right to the relevant land plot? The domestic legislation does not determine which thing (say, an underground structure or an above-ground house) is the "main" object. Furthermore, which object can be considered primary and secondary in the meaning of ownership? It follows, that here lies the principle of the registered owner, which can be translated as "he, who is registered, is the owner". Additionally, it is important to keep in mind the nature of servitude as a limited right that is placed under specific circumstances, for example, when it is unmanageable to satisfy the interests otherwise. An example of negative land servitude is the ban to carry out certain activities on the land, say, to construct buildings above a certain height, etc.

The second option lies in the introduction of new legal constructions. It is argued that the activities of owners and users to the land apply to the expanse located on both sides of the earth's surface and can be ensured as legitimate by the legal structure as follows: "the right to use the space adjacent to the land above and below its surface" (Kulynych, 2011). Herein, underground space can be included in the land plot, and, accordingly, it is "extended" ("distributed") by the right of ownership. The area usage on another, non-proprietary, rights requires supplementary justification in regard to its nature, content, etc., as well as a separate legislative ordinance. If we are to compare "the right to use" to "the right of ownership", it can be argued that the former is considered incomplete. In this case, it is additionally noteworthy to set a demarcation between heterogeneous subsoil resources that fall into the geometrized geological space. The right of landowners and land users to use land and subsoil applies "by default"

to the use of the geological environment with its engineering and geological properties. Unlike that, the rights of land users do not include the ability to utilize other subsoil resources (minerals, geothermal resources, etc.).

Finally, it is permissible to suggest the third option, which is the use of a legal mechanism of joint ownership, or management. The right of joint partial ownership of land should be viewed as the right of several persons to own, use and distribute the land as a single object amounting to 1 (unit) with certain shares in the right of joint partial ownership. Firstly, it is certain that other owners are restricted on the rights of co-owners. Secondly, joint partial ownership is contractual. Therefore, these are the demands for possession, usage, and distribution of land in joint partial ownership to occur (Chyryk, 2019). An example is constructing a multi-story residential house with underground parts, where the legal roles of co-owners are distributed consensually under the contract of joint partial ownership or lease. According to Art. 88 of the Land Code of Ukraine (2002), the co-owners of the plot may agree on separate use of its aboveground and underground parts considering the land plot as part of the space. A similar agreement of co-tenants of the land plot does not contradict the law as well. It is noteworthy that proposed models are not ideal as it is often hard to delimit the shares of co-owners.

In addition, there may be a circumstance under which the site is transferred for use for the development of a certain area or for the creation of green zones for public utility. The aforementioned does not dismiss the opportunity of conducting the underground construction by another person (underpasses, metro stations, trade facilities, etc.), particularly with the subsequent restoration of the damaged elements of landscaping. It is hard to maintain that the underground space of considerable length falls within the sphere of ownership domination of the land user or landowner to whom the site is provided, or transferred, for landscaping purposes. A significant deepening into the soil is not provided in this case mainly because of the restrictions imposed by the permitted use of the land plot, as well as by the provisions of the planning documentation, and what is usually is not of economic interest to the owner (user).

Nevertheless, the aforementioned problems can have a solution. An example is sharing one land plot in a variety of ways. Let us imagine the construction of a tunnel or other structure at the "foot" of a mountain with houses on its top (whether they are used for gardening or horticulture, etc.). In our opinion, it is not in the interests and dominance of owners on the top of the mountain to prohibit the development of caves or tunnels at its foot if it does not do any harm in the process or perspective for owners good and safety and does not cause any inconveniences in the process. Nonetheless, the owners of "surface plots" could claim damages or collect a fee for a "negative servitude", or even try to ban the relevant activities of the "underground user" by appealing to the principle of "qui est solum...". Notwithstanding, the courts must refuse to satisfy such claims because what happens at the foot of the mountain when there are no specific inconveniences like loud noise, vibration, smoke, etc., is outside the sphere of interest of the landowner. The Greek Constitution provides an example for such a case. It follows, that it allows the possibility of tunnel construction without compensation to the owner of the land in instances where "the tunnel construction will not interfere with the normal use of property located above it" (Chyryk, 2019). This is a restriction on the rights of owners of "surface plots" in social favor, which does not deny but rather confirms that, as a general rule, the underground space

under the plot belongs to its owner or user. However, this issue still requires further examination.

According to the given domestic legislation, there is a demand for obtaining special permission for the construction and operation of underground structures not related to the extraction of minerals. It has to be approved by relevant district, city, town, village councils, and councils of united territorial communities, as follows from the Procedure for special permits (*Resolution...*, 2011). Additionally, the kind of economic activity can have its impact on the decision of the authorities whether or not it is appropriate to give such acquiescence. Paragraph 10 of the Regulations on the procedure for granting mining allotments (*On approval of the Regulation...*, 1995) allows local councils and executive bodies to give permissions on mining allotments under the territory where buildings, structures, settlements, etc., are located.

Article 23 of the Subsoil Code of Ukraine (1994) enshrines the right of landowners and land users to extract minerals of local significance, peat, groundwater (except mineral waters), and use subsoil for other purposes. At the same time, it is restricted for such drilling to go deeper than 2 meters and extract more than up to 300 m³ of groundwater per day. Nonetheless, there is no provision for the details of subsoil use by landowners and land users other than the abovementioned purposes.

Coming closer to the conclusions of the study, it can be stated that there are some flaws in the modern law on boundaries to rights of landowners and land users when underground space usage is taken into consideration. If we are to conclude that each land plot following its purpose can be attributed to only one of the categories of land enshrined in the Land Code of Ukraine, then it essentially impoverishes the legal regulation of land use as part of space. Moreover, it once again proves the inappropriateness of leaving the division of land into a closed list of mutually exclusive categories of land under such law. An additional argument against it is that the use of a certain area involves concomitant and permissible uses that may occur at different levels of space. As an example, we can imagine a rock massif, various parts of which serve different objectives. The underground space is occupied by production, the cavities are used for recreation, and the surface is used for housing. It is not provided by the modern legislation of Ukraine that it is likely for such a plot to be assigned to a clear legal model of regulation with a certain category and purpose. In turn, this uncertainty creates the preconditions for corruption and the use of land with significant violations. It is debatable that in forming land plots as real estate objects according to such principles, we may end up speaking of separate immovable possessions (land plots) in one projection.

Despite the obvious advantages, this progressive approach has notable counterarguments. Consequently, the allocation of individual "spatial land plots" is not fully consistent with the principle of "qui est solum...", which is recognized in many countries, although this principle is hardly anywhere perceived as an absolute. The consistent introduction of this principle has not been fully provided in Ukraine's legislation either. Herein, landowners generally do not have ownership not only of the subsoil but also of the space occupied by the subsoil. In this case, the essence of the subsoil is in its available/given resources. Similarly, there is no question of the likelihood of using an infinite (or even relatively long) airspace over the land. Ukrainian legislation also does not have conditions for accounting lands in various "sections" (i.e., "stratas"), as there is a "two-

dimensional" cadastral system. Currently, the development of underground and, in some cases, aboveground spaces often takes place without registration of any documents for land use or subsoil use and, accordingly, with underpayment of land fees. The Subsoil Code states that it is allowed for the construction of mineral deposits of national importance, as well as the construction of non-mining facilities on their sites, to be held in exceptional cases only with the consent of the central executive body, which implements the state policy in the field of geological study and rational use of subsoil, and the central executive body that implements the state policy in the field of labor protection. In reality, this principle is hardly upheld, which leads to material losses and huge risks of destruction in a variety of circumstances.

Here lies a proposal that the best option may be to determine in principle, which is the algorithm of "primary" alienation of use of aboveground and underground spaces of land from the state and communal lands ownership. It can be argued also that it is almost impossible every time in Ukraine to construct some underground object without violating the rights of the existing "surface user". For example, there is nothing new when it occurs that various persons have ownership towards one land, but one of them has ownership to the surface and another has superficies for mining purposes. It follows, that this situation can befall during the preparation of lots for sale of land or rights to them at auctions, so it is tolerable to grant simultaneous use of both aboveground and underground spaces of a certain land plot, which can be purchased by several people, for example, to get a plot for joint lease, joint ownership, etc.

Another problematic issue is the forced "termination" of the legal regime of land in the case of the construction of various real estate objects owned by various entities above and below the ground. The fact is that such events are not directly taken into account in Art. 120 of the Land Code of Ukraine and Art. 377 of the Civil Code of Ukraine (2003), so the practical application of these provisions may be ambiguous. In some cases, there are insufficient grounds to consider such buildings or structures as the main thing and accessories or as part of a single "property complex", as they may be completely separate and unrelated physically and legally immovable things. This is an additional confirmation of the imperfection of the model of "following the building", which is the basis of these rules in land and civil law.

Kulynych (*Kulynych*, 2015) concluded that the legislation of Ukraine implements the land-centric legal concept of real estate, according to which it can be the land itself and everything that is inextricably linked to it. Underground buildings do not have an inseparable connection with the land, so they "fall out" of the legal concept of real estate. The scientist substantiated the subsoil-centric concept of real estate, according to which the building (structure), which is located underground, has a legal connection not with land, but with subsoil (*ibidem*). He (*Kulynych*, 2014) also proposes to combine these concepts in civil and land legislation. The researcher insists on further multiplication of real estate. It is advisable to introduce the concept of a land plot as a single real estate object into domestic legislation, for example, when it comes to the use of land for the construction and maintenance of underground or aboveground linear objects of great length.

Conclusions. Currently, the domestic legislation does not provide a clear answer to the question of delimitation of land and subsoil. At the same time, it recognizes the legal regime of lands and the legal regime of subsoil separately, which causes problems when it comes to law enforcement. It seems desirable to study the legislation of the Anglo-American legal family in this regard as they have the

indivisible legal regime of lands and subsoil. It is likely that certain provisions of the legislation of those countries could be adapted and implemented into Ukrainian legislation.

Another significant problem is the interpretation of the category of "subsoil use". In particular, this applies to urban planning. These are cases when construction is carried out under the surface of the land. However, it is not about subsoil, but the use of the land. Recognition of this fact by the legislator would significantly simplify the activities of economic entities and bring the current state of relevant public relations in line with current legislation. It would be useful to identify the subsoil resources that are used. Most often, construction takes place in the absence of deposits of national importance and use of the engineering and geological space, which is associated with a certain land and adjacent areas. The introduction of vertical zoning may be of great use to Ukraine's current legislation. It would allow remarkable changes for land and subsoil use. It also means that urban space would have its benefits like environmental and aesthetic improvement.

Thus, the issue of proper legal regulation of land and subsoil use in Ukraine is relevant and promising. Further research on this topic may concern the simplification of bureaucratic procedures related to land and subsoil use and the granting of more rights to subsoil users. In particular, the draft Subsoil Code is currently being actively discussed, which may include a rule on the possibility of transferring subsoil use rights from one user to another or the possibility of selling a special subsoil use permission from one business entity to another.

References

- Chyryk, A. (2019). Common partial ownership of land under the land legislation of Ukraine. *Extended abstract of PhD thesis*. Kharkiv.
Civil Code of Ukraine. (2003). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15>. [In Ukrainian]

- Dimitriev, M.A. (2011). On the question of subsoil areas as objects of civil rights. *Russian judge*, 12, 17-20. [In Russian]
Gaiko, G.I. (2014). Problems of system planning of underground space of large cities. *Bulletin of NTUU "KPI". Mining series*, 25, 35-40. [In Ukrainian]
Ignatenko, I.V. (2015). Some legal aspects of complex development of underground space of megacities. *Theory and practice of jurisprudence*, 2(8), 1-11. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/tipp_2015_2_14. [In Ukrainian]
Kalinichenko, K.S. (2016). Legal regime of the land plot and the buildings, constructions located on it in Russia and Germany. *Extended abstract of PhD thesis*. St. Petersburg. [In Russian]
Kirin, R.S. (2017). Problems of object structure of underground construction legal relations: rent aspect. *Law and society*, 5, 112-118. [In Ukrainian]
Kirin, R.S. (2017). The right to use underground cavities: concepts and types. *Actual problems of domestic jurisprudence*, 1(2), 102-106. [In Ukrainian]
Kolotinskaya, E. N. (1986). Legal bases of natural resource cadastres in the USSR. Moscow: Publishing house Mosk. [In Russian]
Kulynych, P. (2011). Legal problems of protection and use of agricultural lands in Ukraine. Kyiv: Logos. [In Ukrainian]
Kulynych, P. (2014). Problems of improving the legal regime of real estate: land-centric and supracentric concepts. *Interdisciplinary humanities studies*, 1, 30-35.
Kulynych, P. (2015). Real estate as an object of legal relations: land-centric and supracentric concepts. *Journal of Kyiv University of Law*, 3, 262 – 265.
Land Code of Ukraine. (2002). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>. [In Ukrainian]
Miroshnichenko, A.M. (2011). Land law of Ukraine. Kyiv: Alerta.
Naumov, N. (1928). Mining Law of Venezuela. *Mining Journal*, 3, 181-183. [In Russian]
Navrotskaya, L.G. (1976). Theoretical issues of legal regulation of mining relations in the USSR. *Extended abstract of PhD thesis*. Moscow. [In Russian]
On approval of the Regulation on the procedure for the provision of mining leases: Resolution 59. (1995). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/59-95-%D0%BF#Text>
Resolution of the On Approval of the Procedure for Issuing Special Permits for Subsoil Use: Resolution 615. (2011). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/615-2011-%D0%BF?lang=uk#Text>
Rudko, G., Mirgorodsky, A., Kurylo, M., Lagoda, A. (2012). Normative legal regulation of subsoil use K.: Hyperion.
Subsoil Code of Ukraine. (1994). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text>. [In Ukrainian]
Voronina, A.A. (2008). Delineation of land and subsoil as independent types of natural resources. *Actual problems of Russian law*, 2, 106-112. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/razgranichenie-zemli-i-nedrak-samostoyatelnyh-vidov-prirodnih-resursov>. [In Russian]

Надійшла до редколегії 14.12.2020

Т. Харитонова, д-р юрид. наук, проф.,
ORCID ID 0000-0002-7998-5089;
E-mail: haritonova@onua.edu.ua,
Національний університет "Одеська юридична академія",
Фонтанська дорога, 23, м. Одеса, 65009 Україна;
В. Носік, д-р юрид. наук, проф.,
ORCID ID 0000-0003-3483-4575;
E-mail: vnosik@ukr.net,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Інститут права,
вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601 Україна;
А. Коструба, д-р юрид. наук, проф.,
E-mail: haritonova@onua.edu.ua;
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018 Україна;
В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: vladvam@gmail.com;
М. Курило, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua;
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

СПІВВІДНОШЕННЯ КАТЕГОРІЙ "НАДРОКОРИСТУВАННЯ" І "ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ" ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ

Нерозривний зв'язок землі та надр зумовлює необхідність адекватної правової регламентації відповідних суспільних відносин, які формуються з приводу використання цих об'єктів. За чинним законодавством питання розмежування земельної ділянки і надр під нею не може бути вирішено однозначно. Зокрема, вітчизняне законодавство обмежує використання земель певними просторовими межами, але чітких принципів і критеріїв цього обмеження в законі немає. Йдеться про "верхню" та "нижню" межі поширення прав власників і користувачів на земельні ділянки. Предметом дослідження виступили норми законодавства з питання регламентації відносин, що виникають на стику надрокористування і землекористування. Об'єкт дослідження – проблемні аспекти суспільних відносин у сфері надрокористування і землекористування. Методологію роботи склали такі методи наукового пізнання: метод аналізу, метод синтезу, метод дедукції, метод індукції, метод абстрагування, метод узагальнення, історико-правовий метод, формально-правовий (догматичний) метод, порівняльно-правовий метод, соціологічно-правовий метод, метод правового моделювання, критично-правовий метод. У результаті дослідження автори дійшли висновку, що у вітчизняній доктрині існують два основні підходи щодо поширення прав власника на простір під земельною ділянкою. Також законодавець не дав відповідь на запитання, де закінчується землекористування та починається надрокористування. У роботі визначено варіанти вирішення цієї проблеми.

Ключові слова: надра, кодекс про надра, землекористування, право власності, містобудівництво.

Т. Харитоновна, д-р юрид. наук, проф.,
ORCID iD 0000-0002-7998-5089;
E-mail: haritonova@onu.edu.ua,
Национальный университет "Одесская юридическая академия",
Фонтанская дорога, 23, г. Одесса, 65009 Украина;
В. Носік, д-р юрид. наук, проф.,
ORCID iD 0000-0003-3483-4575;
E-mail: vnosik@ukr.net,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Институт права,
ул. Владимирская, 64/13, Киев, 01601 Украина;
А. Коструба, д-р юрид. наук, проф.,
E-mail: haritonova@onu.edu.ua;
Прикарпатский национальный университет имени Василя Стефаника,
ул. Шевченко, 57, г. Ивано-Франковск, 76018 Украина;
В. Михайлов, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vladvam@gmail.com;
М. Курило, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: kurilo@mail.univ.kiev.ua;
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

СООТНОШЕНИЯ КАТЕГОРИЙ "НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ" И "ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ" ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Неразрывная связь земли и недр обуславливает необходимость адекватной правовой регламентации соответствующих общественных отношений, которые формируются по поводу использования этих объектов. По действующему законодательству вопрос разграничения земельного участка и недр под ней не может быть решен однозначно. В частности, отечественное законодательство ограничивает использование земель определенными пространственными границами, но четких принципов и критериев этого ограничения в законе нет. Речь идет о "верхней" и "нижней" границе распространения прав собственников и пользователей на земельные участки. Предметом исследования выступили нормы законодательства по вопросу регламентации отношений, возникающих на стыке недропользования и землепользования. Объектом исследования выступили проблемные аспекты общественных отношений в сфере недропользования и землепользования. Методологию работы составили следующие методы научного познания: метод анализа, метод синтеза, метод дедукции, метод индукции, метод абстрагирования, метод обобщения, историко-правовой метод, формально-правовой (догматический) метод, сравнительно-правовой метод, социологически-правовой метод, метод правового моделирования, критически-правовой метод. В результате исследования авторы пришли к выводу, что в отечественной доктрине существуют два основных подхода по распространению прав собственника на пространство под земельным участком. Также законодатель не дал ответ на вопрос, где заканчивается землепользование и начинается недропользование. В работе определены варианты решения этой проблемы.

Ключевые слова: недра, кодекс о недрах, землепользование, право собственности, градостроительство.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.166:551.583

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.08>О. Шевченко, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: shevch62@gmail.com;Український гідрометеорологічний інститут НАН України та ДСНС України,
просп. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна;А. Скорбун, д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: anskorbun@gmail.com;Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України,
вул. Кірова, 36а, м. Чорнобиль, Київська обл., 07270, Україна;В. Осадчий, д-р геогр. наук, чл.-кор.,
E-mail: uhmi@uhmi.org.ua;Український гідрометеорологічний інститут НАН України та ДСНС України,
пр. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна;Д. Чарний, д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: dmitriyich10@gmail.com;ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАНУ",
просп. Акад. Палладіна, 34-А, м. Київ-142, 03680, УкраїнаМІНЛИВІ РИТМИ В РЕЖИМІ ҐРУНТОВИХ ВОД
ТА ЇХНІЙ ЗВ'ЯЗОК З КЛІМАТИЧНИМИ ЧИННИКАМИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

У зв'язку з аномальними змінами в режимі ґрунтових вод за останні 5 років постало питання про адекватність та ефективність існуючих методів прогнозування їхнього рівня. Проаналізовано дані моніторингових спостережень з 1951 р. у верхній частині басейну річки Південний Буг. Методом скінчених різниць розраховано питомий підземний стік до річки у створі м. Хмельник. Встановлено, що наприкінці 80-х років минулого сторіччя почала проявлятися 7–8-річна циклічність в коливаннях рівня ґрунтових вод (РГВ) та підземного стоку. Вона добре корелює із циклічністю температури приземного шару повітря, та меншою мірою – із циклами місячної суми атмосферних опадів. Натомість зовсім не характерні подібні ритми для сонячної активності, для якої властиві 11-річні та 5–6-річні цикли. Саме на зв'язку із ними ґрунтується геліосиноптичний метод довгострокового прогнозування РГВ. Вірогідно, що температурні зміни, які відбуваються на Землі, здатні порушувати закономірну "сонячно зумовлену" циклічність показників режиму ґрунтових вод, тому цей метод прогнозування перестав бути ефективним. Оскільки чіткий зв'язок між температурними змінами та сонячною активністю не простежується, найбільш вірогідно, що температурні зміни спричинені діяльністю людини. З 2013–2015 рр., що започатковують на досліджуваній території маловодний цикл для ґрунтових вод, спостерігаються часті аномальні мінімуми в режимі РГВ та трансформація циклів у бік зменшення (до 5–6 років), що може свідчити про кардинальні зміни в характері живлення ґрунтових вод і відновленні їх запасів. Відхилення від 8-річних циклів та різниця у їх тривалості на різних ділянках одного водозбірного басейну пов'язані передусім з різницею у РГВ.

Як основний метод виділення циклічності застосовано вейвлет-аналіз. За допомогою множинного кореляційного аналізу встановлено, що за останні десятиріччя температура вийшла на домінуючу позицію за впливом на режим ґрунтових вод (за їх рівнів від 1,5 до 4,0 м). У підсумку відмічено, що виявлені 7–8-річні цикли добре простежуються під час відносно багатоводного періоду, спричиненого збільшенням інфільтраційного живлення ґрунтових вод внаслідок почастищення зимових відлиг (один із достовірних проявів глобального потепління), а 5–6-річні цикли кореспондуються з маловодними періодами.

Ключові слова: циклічність, рівні ґрунтових вод, підземний стік до річки, вейвлет-аналіз, режим, температура, сонячна активність, опади, спостереження, Південний Буг, чинники.

Вступ. У гідродинамічному режимі об'єкти континентальної гідросфери спостерігається багато циклів різної тривалості. Ритми в динаміці рівнів поверхневих і ґрунтових вод (РГВ) одним із перших описав Н.С. Токарев (Токарев, 1951). Він помітив тривалі або довгі – 78–80-річні, середні – 11-річні та короткі (1,2–3 роки) ритми та пов'язав їх із сонячною активністю. Зв'язок окремих циклів у режимі РГВ із змінами активності Сонця та гравітаційного впливу Місяця, особливо у фази його максимального наближення до Землі, є достатньо обґрунтованим. Гравітаційний та енергетичний вплив Сонця на земну атмосферу та поверхню Землі великою мірою трансформується та проявляється у синоптико-кліматичних процесах та гідролого-гідрогеологічних явищах із значним зсувом у часі (Ейгенсон, 1957). У свою чергу, типі атмосферних циркуляцій, що визначають різний ступінь зволоження території (антициклональний тип – вологий літній період та багатосніжна зима; циклональний – навпаки), є однією з форм прояву на Землі впливу сонячної активності. Д.М. Кац для зрошуваних регіонів виділив ритмічні коливання природних РГВ, які відповідають змінам клімату, що відбуваються з періодичністю від 20 до 35 та від 10 до 14 років, із середнім значенням (для останнього випадку) в 11 років (Кац, 1960).

За багаторічними спостереженнями у Ленінградській області СРСР було виділено цикли у 3–4, 5–6, 8–14 (в середньому 12) та 26–31 років (Зальцберг, 1961). Тривалість виділених Вільямсом (Williams, 1961) ритмів для опадів, температури та мінливості стоку для значної частини території світу в багатьох випадках співпала із 10,5-річними (21-річними) циклами Хейла і 88-річними циклами сонячної активності Гліссберга. Ще один цикл, встановлений за гідрологічними та кліматичними даними, – місячний і сонячний кріппивно-періодовий триває 18,6 років. Цей період разом із сонячними циклами детально проаналізований Currie (Currie, 1996). Інші вчені (Esper et al., 2002; Liritzis and Fairbridge, 2003) також показали, що багаторічні цикли температури повітря та інших кліматичних показників, імовірно, мають своє походження в русі Землі у космосі.

Стало очевидним, що багаторічні цикли значної тривалості (≥ 200 років) мають переважно космічне походження та достатньо незалежні і стійкі. З іншого боку, для менш тривалих ритмів помічено, що чим менша їх частота, тим менше чинників впливає на циклічність і тим чіткіше простежується її залежність від певного чинника. Відповідно, чим триваліший цикл, тим більше чинників на нього впливає; крім того, в різний час на домінуючі позиції виходять різні чинники, що робить ци-

клічність невитриманою. Так, добові коливання неглибоких РГВ можуть бути спричинені кількома факторами, серед яких виділяють: чергування процесів заморожування та розморожування (Gribovszki et al., 2006); опади після полудня в тропіках; зміни гідралічної провідності руслового потоку, спричинені коливаннями температури – для прирічкових ділянок; зміни знаку та величини заряду електромагнітного поля ґрунтового покриву під впливом зовнішніх електричних сил, що в першу чергу впливають на напрямок руху пароподібної вологи (Бублясь та ін., 2008), зміни атмосферного тиску та ін. У різних кліматичних зонах і ландшафтах пріоритет мають різні чинники (Gribovszki et al., 2010; Ковалевський, 1973; Вольфцун, 1972; Коноплянець і Семенов, 1979; Лебедев, 1980). Так, у помірному кліматі одним з найважливіших чинників, що спричиняють щоденні коливання, є споживання води рослинністю (Gribovszki et al., 2010). У районах та на глибинах поширення скельних і напівскельних порід зміна ритмів стискання – розтягання добре фіксується за ступенем розкриття тріщин (Шестопалов і Бублясь, 2016), що позначається на коливаннях рівнів підземних вод. Ці коливання, як і деформаційні ритми, мають періодичність в один рік (Рудаков, 1993) та спільний чинник – зміну швидкості обертання Землі.

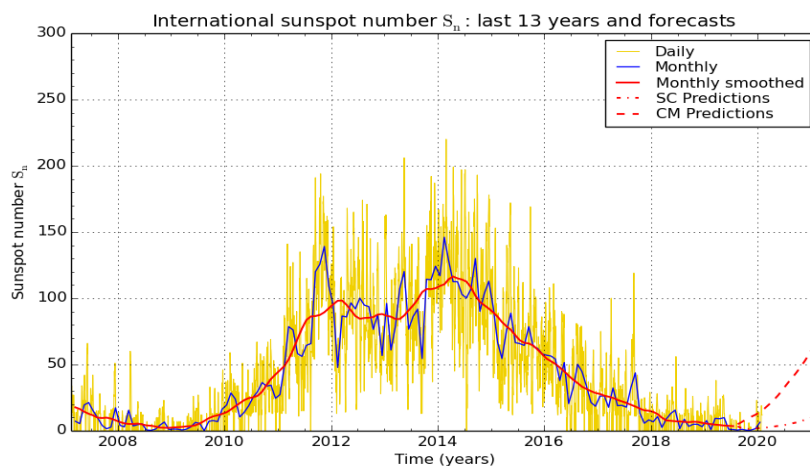
Отже, прояви змін клімату та їхнього впливу на режим ґрунтових вод доцільно шукати у змінах циклічності температури та атмосферних опадів, пов'язаних із змінами сонячної активності.

На використанні зв'язків між сонячною активністю і атмосферною циркуляцією, з одного боку, та змінами РГВ – з іншого, було побудовано *геліосиноптичний метод* довгострокового прогнозування РГВ (Коноплянець і Семенов, 1979). У його основі лежать вікова мінливість сонячної активності, яка складається з парного поєднання 11- та 22-річних циклів, та міжциклові закономірності їх послідовних змін (Коноплянець і Семенов, 1979; Шинкаревський, 1973). Проте наші дослідження вказують на те, що встановлені до початку 2000-х років закономірності вже не витримуються і цей метод потребує істотного корегування, так само як і прогнозування природного режиму РГВ на основі *геоінформаційного підходу*, що передбачає виділення *зон однорідного режиму* за багаторічними закономірностями (Давибіда, 2014).

Сучасне підвищення температури повітря в Україні має поки що незмінно наростаючий характер і, відповідно до реконструкції кількості сонячних плям

(Solanki, 2004), рівень активності Сонця протягом останніх 70 років є винятковим (подібний період високої активності відбувся понад 8000 років тому).

Більшість спостережень попередніх років вказують на існування *оберненої залежності ритмічних коливань РГВ від активності Сонця*. Така залежність простежується приблизно з 1930 р. Найвищу сонячну активність за числами Вольфа (201,3) за увесь час телескопічних спостережень мав 19-й цикл 1954–1964 рр., якому відповідали мінімальні положення РГВ (Коноплянець, Семенов, 1979). До останнього часу також спостерігалась здебільшого обернена залежність РГВ від активності Сонця. У 2014–2015 рр. ця залежність дещо змістилась, що помічено нами під час аналізу даних багаторічних гідрогеологічних спостережень по свердловинах державної моніторингової мережі у верхній частині басейну р. Півд. Буг: Сонце було найбільш активним у квітні 2014 р. (пік відповідав у середньому 82 сонячним плямам), проте РГВ були найвищими за період спостережень (з 1950 р.) завдяки значній кількості опадів у попередньому році (743,7 мм) та в січні 2014 р. (40 мм); а зниження РГВ у 2015–2016 рр. відбувались вже у фазі зменшення сонячної активності. 24-й сонячний цикл, перебуваючи у стані рецесії із серпня 2019 до вересня 2020 р. (рис. 1), досяг свого мінімуму 15 вересня 2020 р., а період, коли Сонце було найменш активним (за згладженим числом сонячних плям – 1,8) стався в грудні 2019 р. (Hello Solar Cycle, 2020). Всупереч очікуваному підвищенню РГВ, як його закономірної реакції на зниження сонячної активності, 2019 р. та зима 2019–2020 рр. відзначились зниженням РГВ на 0,5–0,8 м нижче середньобаторічної норми внаслідок дуже низької кількості опадів (забезпеченість по країні здебільшого в межах 40–70 % від річної норми) (Стан..., 2020). До початку жовтня 2020 р. відновлення РГВ до середньобаторічної норми на значній території так і не відбулось, що узгоджується із свідченнями про довшу тривалість періоду низьких РГВ (гідрогеологічна посуха) порівняно з метеорологічною посухою (Hsin-Fu and Hsin-Li, 2019). Порушення залежності РГВ від сонячної активності може свідчити про порушення закономірної підпорядкованості гідрогеологічних процесів глобальним космічним факторам, що можливо відбувається внаслідок *докорінних змін* у характері живлення (відновлення запасів) ґрунтових вод, спричинених техногенезом та глобальними змінами клімату.



SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2020 February 1

Рис. 1. Зміни сонячної активності під час 24-го сонячного циклу, що закінчився у вересні 2020 р. (Hello Solar Cycle 25, 2020)

Отже, з аналізу існуючих даних можна припустити, що глобальне потепління (або певні першопричини чи пов'язані із ним процеси) могло змінити усталену закономірну циклічність показників режиму ґрунтових вод, а вплив місцевих чинників на режим ґрунтових вод з часом нівелюється, оскільки зниження РГВ відбуваються по всій території України та за її межами незалежно від початкових рівнів, ландшафтної належності, сейсмічної активності тощо. Проявляються невластиві певним кліматичним зонам України аномальні зниження РГВ, що може свідчити про зміщення або розширення аридної зони на північ. У зв'язку із цим можуть порушитися статистично обґрунтовані попередніми багаторічними спостереженнями зв'язки між показниками режиму ґрунтових вод та незалежними чинниками, що істотно зменшує точність прогнозування РГВ.

Тому ми поставили за **мету** визначити притаманні режиму ґрунтових вод сучасні види циклічності, встановити їх витриманість, підпорядкованість та узгодженість із циклічністю режимоформувальних чинників, а саме: температури, опадів, витрат найближчої річки; а також порівняти встановлені ритми із циклічністю сонячної активності та виділити сучасні тренди змін підземного стоку та режимоформувальних чинників.

Методи досліджень. Для визначення обсягів питомого стоку ґрунтових вод до річок застосовано чисельний гідродинамічний метод на основі скінченно-

різницевого рівняння (Вольфцун, 1972). Основним методом виділення циклічності в рядах даних багаторічних спостережень за РГВ та режимоформувальних чинників нами обрано вейвлет-аналіз, як один із досконалих сучасних статистичних методів (Grossmann and Morlet, 1984, Hsin-Fu and Hsin-Li, 2019). Для порівняння та верифікації результатів застосовувався метод швидкісних перетворень Фур'є, а також множинний кореляційний аналіз (Дубнов, 2004).

Результати досліджень. Циклічність РГВ та стоку ґрунтових вод до річки. Для виявлення циклічності у коливаннях рівнів та витрат стоку ґрунтових вод ми обрали ряди одних з найбільш тривалих (з 1951 р.), майже безперервних спостережень за РГВ на території України по свердловинах на ґрунтові води у непорушених умовах у басейні р. Півд. Буг (Вінницька область).

Спочатку для виділення одноманітних періодів в режимі РГВ та переламних років, що можуть кореспондуватись із істотними метеорологічними змінами, було побудовано різницеві інтегральні криві. На них добре виділяються два тривалих етапи – зниження та підйому (рис. 2). Переламна точка (екстремум), що розділяє ці два етапи для РГВ по свердловині № 5-5 (середньобагаторічне значення РГВ 3,65 м від поверхні) припадає на **1989 р.** (рис. 2). Для свердловини № 5-3 (РГВ = 1,76 м) можна виділити й третій етап, що також виділяється з 1989 р. за помітним переламом кривої підйому.

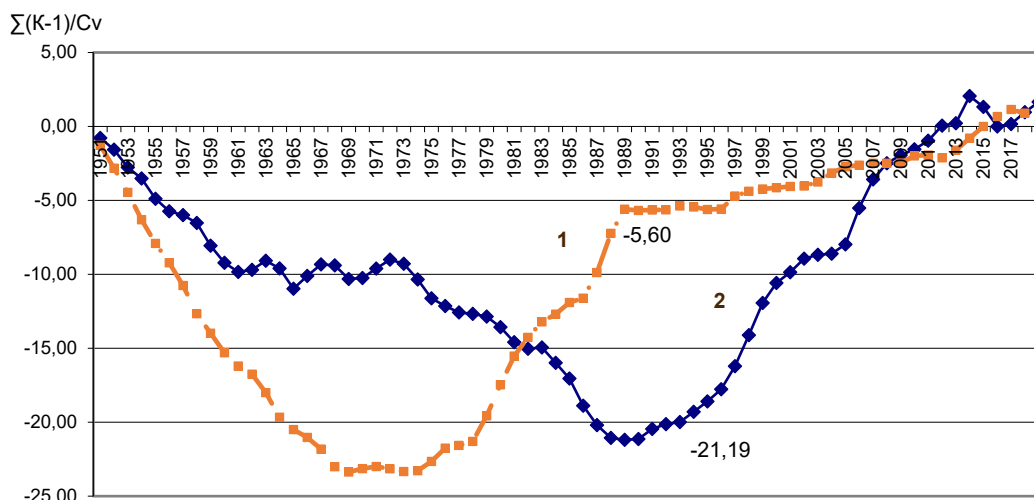


Рис. 2. Різницеві інтегральні криві по РГВ у свердловинах № 5-3 (1) і 5-5 (2) у м. Хмельник Вінницької області на період 1951–2019 рр.

На форму інтегральної кривої найбільше має впливати *характер багаторічних змін рівнів* і передусім інтенсивність та *тривалість основних та другорядних циклів* коливань рівня (Коноплянцев и Семенов, 1979). Оскільки свердловини № 5–5 і № 5–3 перебувають на різних гіпсометричних рівнях (друга свердловина нижче), на різній віддаленості від річки (перша, на лівому березі, – далі; друга на острові, на 50 м ближче), мають істотно різний середньобагаторічний РГВ (відповідно 3,65 і 1,76 м) тобто очевидно мають різний тип режиму, а отже і різні домінуючі режимоформувальні чинники, то і характер інтегральних кривих у них відрізняється (рис. 2). Вважається, що для РГВ 1,5–2,0 м провідним режимоформувальним чинником є температура повітря, а для глибин 3,0–4,5 м – атмосферні опади (Коноплянцев и Семенов, 1979).

Якщо звернутись до хронологічного графіку РГВ по свердловині № 5–5 (рис. 3), то побачимо, що простежується витримана повторюваність маловодних років 82–99 % забезпеченості. Вона вкладається у достатньо чіткі 5–6- та

10–11-річні цикли, які узгоджуються із циклами сонячної активності. Проте такі цикли РГВ стають невиразними після 1986 р. (Шевченко та ін., 2019; Shevchenko et al., 2020).

Період високих РГВ, що почався для водоносного горизонту у верхньочетвертинних і сучасних алювіальних відкладах (св. № 5–5) після 1989 р. (рис. 3) добре кореспондується з першим переходом у цьому році середньомісячних температур лютого (Метеостанції "Гайсин" і "Любашівка") до позитивних значень і відносно стабільним утриманням середніх температур цього місяця вище $-4,5^{\circ}\text{C}$ (Осадчий та ін., 2013; Шакірзанова та Казакова, 2015), а також абсолютним багаторічним максимумом температури повітря саме в грудні 1989 р. (Осадчий та ін., 2013). Загалом **1989 р.** визнано роком "початку значущих змін клімату в Україні" (Осадчий та ін., 2013; Степаненко та ін., 2015). Очевидно, що саме зимові відлиги, які різко почастишали з 1989 р., призвели до збільшення інфільтраційного живлення, підйому РГВ (Шевченко та ін., 2019; Diffenbaugh et al., 2013; Shevchenko et al., 2020) і масштабних підтоплень території України.

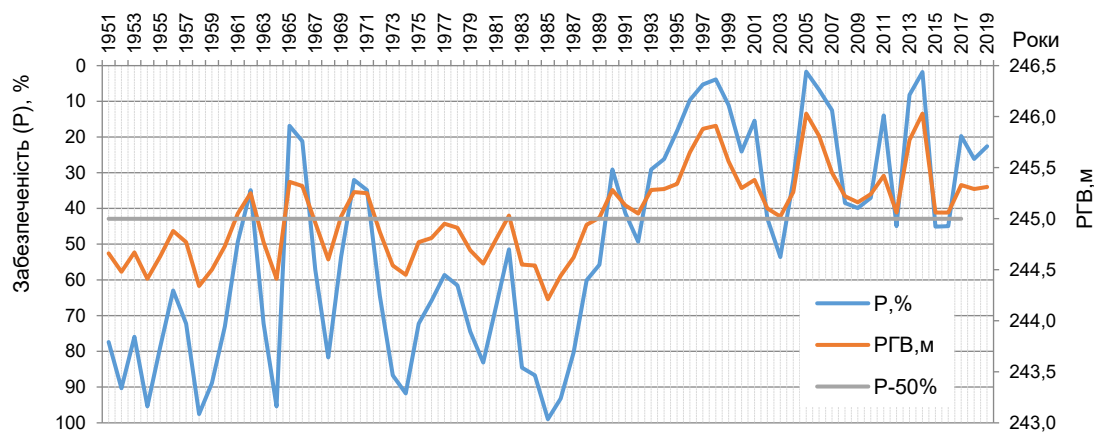


Рис. 3. Хронологічні графіки рівня ґрунтових вод (РГВ, м) до 2019 р. та їх забезпеченості (Р, %) порівняно з рівнем 50 % забезпеченості для свердловини № 5–5, м. Хмільник Вінницької області, басейн р. Півд. Буг

Для виділення часу виникнення, тривалості та зв'язків між різними циклічностями було застосовано метод вейвлет-аналізу. За середньомісячними даними нами виявлено 7–8-річну циклічність коливань РГВ для всіх спостережних свердловин з непорушеним або слабопорушеним режимом у верхній частині басейну р. Півд. Буг. Зокрема, для свердловини № 5–5 (м. Хмільник) така циклічність найбільш чітко простежується приблизно з 1989 р. (рис. 4). При цьому дуже невиразною стає 10,6-річна циклічність, яка проявилась лише на час маловодного періоду 1972–1988 рр. (рис. 3), що майже збігся із 21-м сонячним циклом (1976–1986 рр.). Приблизно до цього ж часу добре проявляється 30–32-річна циклічність (другий невеликий пік знизу на графіку праворуч рис. 4), яка потім майже зникає. Після 2011 р. 7,8-річна циклічність порушується, що можна пов'язати з реакцією режиму РГВ на початок маловодного періоду (на рис. 2 – наближення та перехід через "0"). Вказані роки (як і 1989 р.) можна визнати поворотними, від яких починаються нові етапи в режимі ґрунтових вод, пов'язані із змінами умов їх живлення. На спектрограмі вище ряду 7–8-річних циклів, позначеного більшою стрілкою, також помітний ряд малих плям (напроти меншої синьої стрілки), що означає наявність 5,5-річного ритму в коливаннях РГВ. Він добре витримувався під час вже згаданого 19 циклу сонячної активності, проте в період з 1970 по 1986 рр. плавно переходить у 7–8-річні цикли. Тобто, якщо розглядати всі три типи циклічності у взаємодії, то в означений період відбулось "злиття" 5–6-річної та 11-річної циклічностей у 8-річну.

На спектрограмі РГВ (1,5–2,0 м від поверхні) по свердловині 5–3 (рис. 5), що знаходиться на острові посеред р. Півд. Буг у м. Хмільник, від початку спостережень у 1951 р. також виділяються ритми в середньому по $5 \pm 0,6$ років, а ритми у $8,1 \pm 1,0$ років починають простежуватись раніше, приблизно з 1975 р. Майже з цього ж року для даної ділянки розпочався тривалий етап високих РГВ (рис. 6). Отже, слід шукати певні метеорологічні події, що відбулись за цей рік і призвели до зміни циклічності РГВ та їх підвищення. Згідно з (Осадчий та ін., 2013) 1974 р. на заході країни відзначався абсолютним багаторічним максимумом температури повітря у березні місяці а 1976 – у грудні, у 1975 р. зафіксовано одне з найбільших додатних відхилень середнього максимуму температури січня ($5,2^\circ\text{C}$) (Осадчий та ін., 2013). Цілком вірогідно, що саме ці події, які добре узгоджуються із концепцією глобального потепління, призвели до кардинальних змін у режимі неглибоких (РГВ = 1,0...2,0 м) ґрунтових вод та започаткували для них період високої водності.

Перед тим як плями 8-річної циклічності стають найбільш яскравими (початок 80-х років – у центрі спектрограми на рис. 5), 5–6-річні цикли, які простежуються у вигляді горизонтального ряду плям посередині між позначками 16 та 64 (вісь ординат), навпаки стають невиразними. Вірогідно, що "нова" 7–8-річна ритмічність спричинена навіть більш впливовим глобальним чинником, ніж сонячна активність. Проте після 2004 р. (503 місяць на осі абсцис) і ці ритми стають дуже нечіткими.

З наведеного вище випливає, що найбільш чітка 5–6-річна циклічність характерна для тривалих періодів переважно низьких РГВ, а 7–8-річна – краще проявляється під час періодів високих рівнів. Врахування цього дозволяє підвищити точність прогнозування РГВ.

На водозборах малих приток р. Півд. Буг для ґрунтових вод також характерні близькі до 7-річного цикли із несуттєво меншою тривалістю. Так у басейні р. Соб (м. Липовець) для РГВ (3,0–6,0 м) від початку спостережень у 1988 р. по свердловинах державної мережі гідрогеологічного моніторингу встановлені цикли $6,9 \pm 0,3$ роки, проте у 2013 р. вони зникають. Достатньо чіткий цикл у 2,2 роки зникає вже після 1997 р., ще менш тривалим є цикл у 3,9 років, проте добре проявляється ритм у 26 років. Для РГВ (0,4–1,8 м) у верхів'ях зарегульованої р. Згар (с. Городище) більш-менш чітко проявляється лише циклічність у 7 років (спостереження почались у 1986 р.).

Здавалось б, що постійні та спільні для всієї водної оболонки Землі космічні об'єкти та геофізичні процеси повинні формувати якщо не синхронні цикли, то хоча б ритми з однаковою повторюваністю. Проте виявляється, що достатньо витриманої повторюваності (циклічності) у змінах показників режиму немає. Спостерігаються не лише ритми різної періодичності для одного водного об'єкта, скажімо першого від поверхні водоносного горизонту (ґрунтових вод), а й тимчасові зникнення певних ритмів, поява інших циклів та різна ритмічність для однакових але віддалених об'єктів. Останнє може бути зумовлене значним впливом ландшафтних відмінностей, у т. ч. умов дренажності, на формування режиму ґрунтових вод та інфільтраційного живлення зокрема (Лебедев, 1980; Гриневский и Маслов, 2010). Наприклад відомо, що навіть за меншого надходження літньо-осінніх опадів на поверхню ґрунту в лісі (70 % від запасів на відкритому полі чи луках), тут глибина зволоження ґрунту та інфільтраційне живлення ґрунтових вод істотно більші, ніж на полі (Гриневский и Маслов, 2010). На полях інфільтраційне живлення в літній період практично відсутнє. Те, що понад 70 % території нашої держави займають відкриті ґрунти сільгоспугідь, робить її природні водні ресурси дуже вразливими до виснаження в умовах зменшення кількості опадів та підвищення температури.

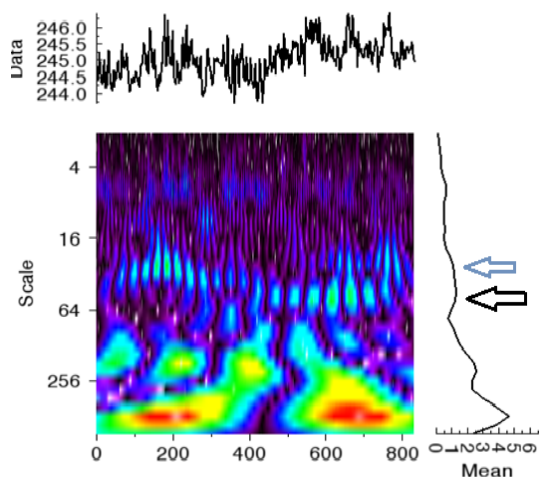


Рис. 4. Вгорі – хронологічний ряд середньомісячних значень РГВ (в абсолютних відмітках БС) у свердловині № 5–5 (м. Хмільник, лівобережжя р. Півд. Буг) за 1950–2020 рр.

Під ним – двовимірний спектрограма його вейвлет-розкладу.

По горизонталі – місяць від початку спостережень. По вертикалі – напівперіод в одиницях горизонтальної осі. Стрілками показано ряди плям, для яких можна достатньо надійно визначити період

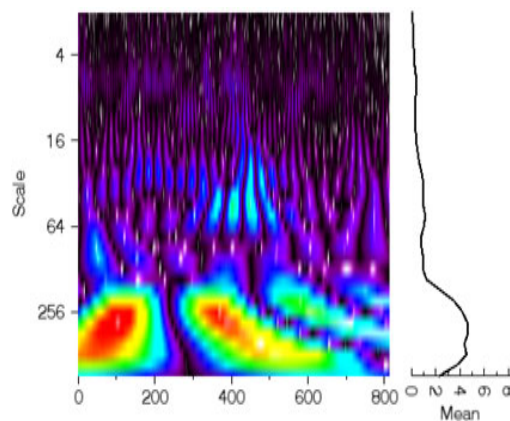


Рис. 5. Спектрограма за результатами вейвлет-аналізу даних багаторічних (1951–2018 рр.) спостережень за РГВ у свердловині № 5–3 (м. Хмільник, острівна ділянка)

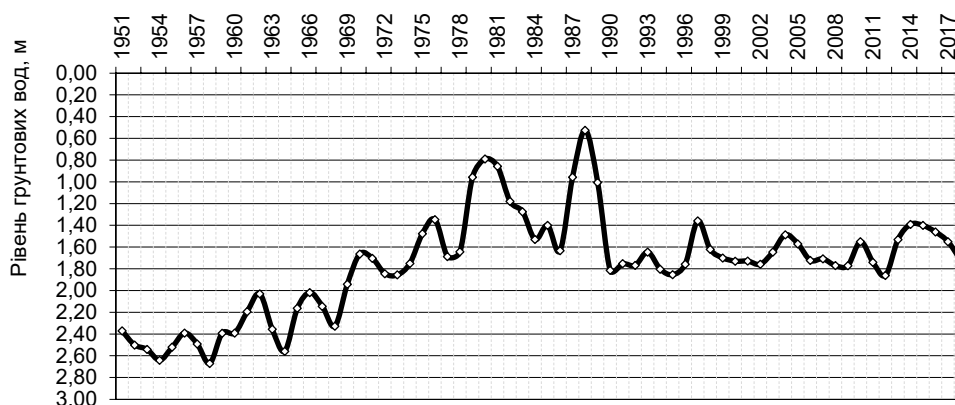


Рис. 6. Динаміка середньорічних РГВ (водоносний горизонт у голоценових алювіальних відкладах) по свердловині № 5–3 в басейні р. Півд. Буг, м. Хмільник. Помітний вихід на вищі відмітки у 1975 р. та зміна тренду (стає горизонтальним після тривалого зростання) з 1989 р.

Слід відзначити, що в історії режимних спостережень за РГВ 6–8-річні цикли вже виділялись, зокрема при обробці даних коливань температури, опадів, мінімального стоку р. Дон та РГВ на 1 вересня кожного року у Кам'яному Степу (Воронезька обл. РФ) (Коробейников, 1965). Окрім семирічних проявлялись також й інші цикли, проте найбільш чіткими були 11- та 7-річні. Семирічні стійкі цикли доволі чітко проявляються також для стоку річок Дністра та Пруту поряд із 5- та 29-річними (Лукьянец и Каминская, 2015).

Випадки "зникнення" 11-річної циклічності в динаміці різних гідрометеорологічних явищ також вже траплялись (зокрема, для рівнів оз. Вікторія та Каспійського моря), що М.С. Ейгенсон (Эйгенсон, 1957) пояснював "приховуванням" їх більш чіткими 5–6-річними циклами. Важливо відмітити, що у так званий перехідний період (2008–2009 рр.) також виявлено порушення в синхронних змінах 11-річного циклу Сонячної активності та глобальної температури, які спостерігались включно до 1998 р. (Лаба та ін., 2013).

Є підстави вважати, що за останні десятиріччя відбулись глибокі, докорінні зміни режиму ґрунтових вод, що практично повністю робить непридатними статистичні

моделі прогнозування РГВ, побудовані на закономірностях, встановлених за даними спостережень минулого сторіччя. Це підтверджує оцінка порушень статистичної стійкості коливань РГВ. Виконаний нами аналіз ступеня гіпервипадковості щодобових вимірювань РГВ у свердловинах даного басейну за період 1980–2020 рр. допоміг виявити часовий перехід від випадкових змін режиму РГВ до гіпервипадкових, який припадає приблизно на 1990–1993 рр. Це означає, що стохастичні моделі, за допомогою яких можна було описувати коливання РГВ протягом десятиріч до цього, після 1993 р. стали непридатними.

Семи-восьмирічні цикли добре помітні й на графіку витрат ґрунтового стоку до річки Півд. Буг (рис. 7), які було розраховано чисельним методом за даними гідрогеологічних та гідрометричних спостережень. На хронологічному графіку також помітно два періоди за характером змін підземного притоку до річки: 1) монотонного та стрімкого зростання (1980–1998 рр.); 2) врівноваження загальної тенденції, проте з наявними різкими екстремумами – найвищими максимумами та достатньо глибокими мінімумами (1999–2019 рр.). Повторюваність максимумів – 8–9 років (наступний максимум можна очікувати приблизно у 2023 р.).

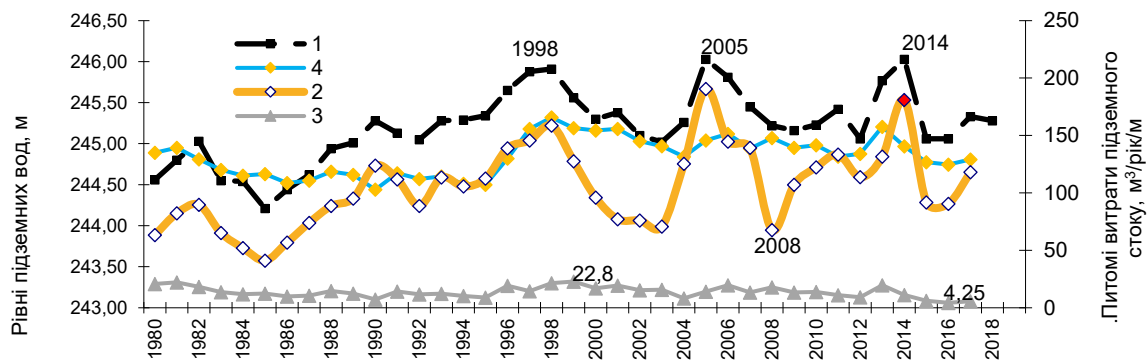


Рис. 7. Хронологічні графіки змін показників режиму ґрунтових вод (1 – РГВ св. 5-5, м абс. відм. БС; 2 – питомий стік до річки, м. Хмільник, м³/рік/м) за період максимальних проявів глобального потепління у співставленні з показниками режиму поверхневого стоку (3 – середньорічний стік р. Півд. Буг, пост "Лелітка", м³/с; 4 – середньорічний рівень р. Півд. Буг, м. Хмільник)

Зростання підземного стоку в маловодні періоди (піки 2011, 2014 рр.) звичайно пов'язані із створенням значних градієнтів стоку між підвищеними РГВ у прирічковій зоні та зниженим рівнем води в річці (рис. 7), що пояснюється швидкою реакцією рівня річки та поверхневого стоку на дефіцит опадів і уповільненою – рівнів ґрунтових вод. Це підтверджує сезонний розподіл, згідно з яким найбільші обсяги стоку ґрунтових вод припадають на літні місяці, коли рівень у річці найнижчий (Шевченко та ін., 2019).

За результатами вейвлет-аналізу даних підземного стоку до річки Півд. Буг (рис. 8) підтверджується чітка 7,5-річна циклічність, проте вона більш очевидна з 1993 р. (половина ритму після 1989 р.) – початку етапу гіпервипадкових змін у режимі ґрунтових вод. На спектрограмі підземного стоку, на відміну від РГВ (рис. 4–6), 5–6-річні ритми майже не помітні, проте з розрахунків тривалості окремих періодів 7–8-річної циклічності випливає, що тривалість циклу з часом зростає від 5,8 (1985 р.) до 8,5 років (2009 р.), а наприкінці починає зменшуватись до 8,0 років (по напівциклу на 2013 р.). Тобто очевидно, що 7–8-річний циклічності підземного стоку до річки також, як і для РГВ, передувала 5–6-річна циклічність.

Наявність циклічності у 7,4 роки (88,8 міс.) для питомих (м³/пог. м/міс.) підземного стоку на весь період (1980–2016 рр.), а також цикли в 1 та 4 роки підтверджено спектральним аналізом даних методом швидкісних перетворень Фур'є (Shevchenko et al., 2019), проте останній

метод не дозволяє визначати час появи та зникнення цієї циклічності. На відміну від 7–8-річних циклів РГВ, такі цикли в динаміці підземного стоку практично не зменшують інтенсивності свого прояву і в останні роки (рис. 8). Тобто період 2011–2019 рр. за циклами РГВ характеризується як маловодний, а за циклічністю підземного стоку – навпаки. Якщо проаналізувати методом Фур'є ряд даних за період 1999–2016 рр., то виявляється пік достатньо чіткої 9-річної (108 місяців) циклічності. Це видно і за двома максимумами стоку у 2005 та 2014 рр. (рис. 7).

Циклічність поверхневого (річкового) стоку важлива тим, що гідрологічний режим річки є впливовим режимоформувальним чинником для ґрунтових вод на обох ділянках. Очевидно, що якщо 7–8-річні цикли виділяються для достатньо широкого діапазону РГВ, то вони скоріш за все зумовлені загальними зовнішніми чинниками, а не гідрогеологічними умовами чи локальними умовами дренаваності. Отже, можна припускати, що такі ритми проявлятимуться і в режимі поверхневих вод. Вейвлет-аналіз за даними витрат річки Півд. Буг цілком підтвердив це припущення. Дійсно, в коливаннях присутні 7–8-річні цикли, проте вони порівняно швидко (за 2003–2005 рр.) зміщуються до 11-річних (рис. 9) напередодні маловодного для поверхневого стоку циклу років (почався у 2008–2009 рр.). Дещо пізніше, приблизно з 2011 р., формується також 5–6-річна циклічність.

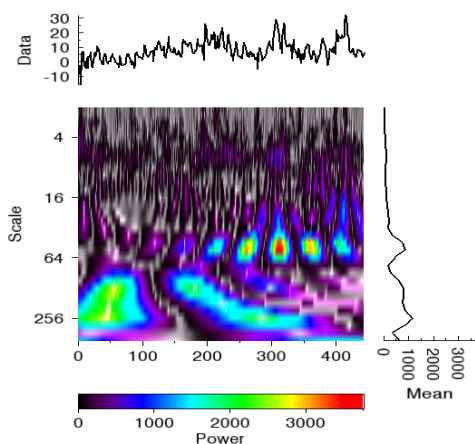


Рис. 8. Спектрограма за результатами вейвлет-аналізу розрахункових даних (1980–2016 рр.) підземного стоку до р. Півд. Буг. Пляма означає половину циклу. Ряд яскравих плям на рівні позначки 64 з помітним піком на кривій праворуч відповідає циклічності близько 7,5 років

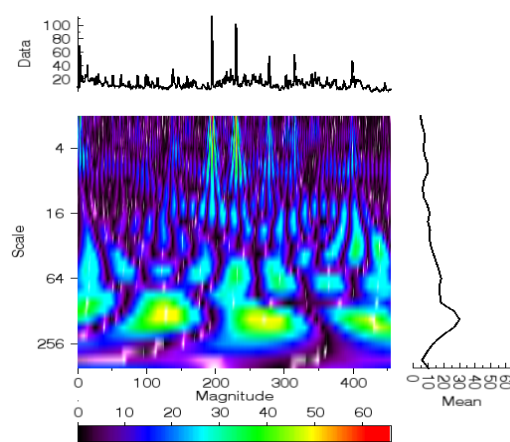


Рис. 9. Спектрограма за результатами вейвлет-аналізу середньомісячних значень витрат р. Півд. Буг за період 1980–2016 рр. на посту с. Лелітка

Цілком логічно припускати, що виявлені відхилення від стабільної ритмічності зумовлюються не накладеною дією кількох незалежних більш менш рівноцінних чинників, а домінуючою дією одного чинника, яка викривлюється під впливом місцевих факторів.

Циклічність опадів та температури повітря. Як відомо, найвпливовішими режимоформувальними чинниками, які для всіх випадків і типів режиму використовують як предиктори для короткотермінового прогнозування РГВ, є в першу чергу опади і температура приземного шару повітря (Коноплянцев і Семенов, 1979; Козловський, 1995; Уралов та Шевченко, 2001; Рубан та Шинкаревський, 2005). Нами встановлено, що переламні порушення в циклічності режиму ґрунтових вод здебільшого збігаються із

значущими змінами температури, меншою мірою – зі змінами в розподілі кількості опадів. Тобто і в ритмах цих режимоформувальних чинників також слід шукати збігу з циклами РГВ.

Виявлені за допомогою вейвлет-аналізу ритми **атмосферних опадів**, (рис. 10), на відміну від ритмів РГВ, мають дещо більшу тривалість – 8,7 та 16,9 років. Раніше для близьких широт (Кам'яний Степ, Воронежська обл.) за результатами обробки річних сум опадів та сумарних опадів холодного періоду було виявлено циклічності у 3–4, 6–8, 11, 13–16, 21–23, 26 і 34–35 років (Коробейников, 1965). Найбільш чіткими та стійкими були 11-річні "сонячні" цикли.

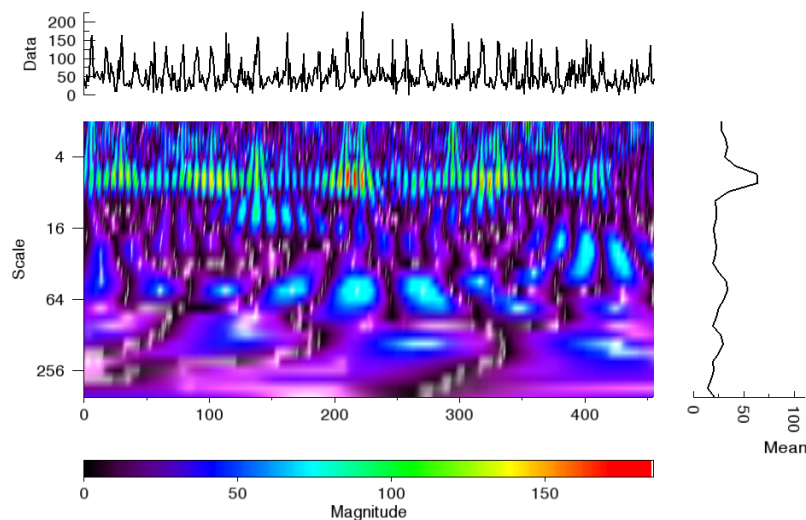


Рис. 10. Спектрограма за результатами вейвлет-аналізу даних багаторічних (1980–2016 рр.) спостережень за атмосферними опадами (місячна сума) по метеостанції м. Хмельник

Можна припустити, що 7–8-річна циклічність повинна проявитись і у змінах **температури** приземного шару повітря. Дійсно, на спектрограмі вейвлет-аналізу добре виділяються ритми у $8,1 \pm 1,1$ роки (рис. 11). Найменші вертикальні (часові) відхилення вони мають після 1986 р. Тут важливо відмітити переваги вейвлет-аналізу, оскільки під час застосування методу швидкісних перетворень Фур'є, ні для опадів, ні для температури не було виявлено ніяких циклів окрім 12 місячних (для поверхневого стоку встановлено також ряд слабких ритмів, серед

яких є 9,25 років). Для порівняння, встановлені раніше періодограмним методом цикли температури для Кам'яного Степу мали тривалість 3–4, 6–8, 11–12, 13–17, 19–21, 23–25 та 32–34 років (Коробейников, 1965), з найбільш чіткими циклами в 11 та 32–34 роки. Проте у нашому випадку 11-річні цикли зовсім не проявляються і лише короткий час (дві плями між 100 та 200-м місяцями) помітні 10-річні цикли.

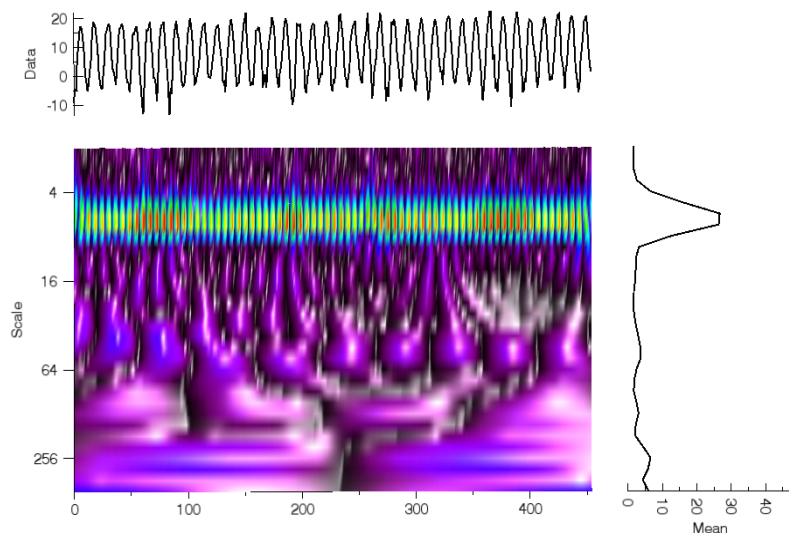


Рис. 11. Спектрограма температурної циклічності (м. Хмельник) за період 1980–2016 рр.

Результати множинного кореляційного аналізу також свідчать про домінуючу роль температури повітря у формуванні режиму стоку ґрунтових вод до річки (за даними по свердловині № 5–5 з більш глибоким РГВ). Істотно слабше проявляється залежність підземного стоку від опадів і режиму поверхневого стоку річки (Шевченко та ін., 2019; Shevchenko et al., 2019). Низький статистичний зв'язок між стоком ґрунтових вод або РГВ та опадами пояснюється значним запізненням реакції РГВ на опади: підвищення РГВ відбувається на 12–90 діб пізніше. Така значна і нерегулярна різниця у зміщенні реакції РГВ на опади в часі, яка залежить переважно від погодних умов, у тому числі тривалості та інтенсивності дощу, не дозволяє спиратись на якусь певну, чи хоча б сезонну поправку під час прогнозування РГВ. Температура ж, як головний регулятор інфільтраційного живлення ґрунтових вод, більш витримана впродовж часу, за який відбувається і випадіння опадів, і реакція на них РГВ та підземного стоку. Тому і ваговий коефіцієнт впливу температури на підземний стік найбільший серед інших чинників (6,06), що кореспондується з тісним зв'язком їх циклічностей – відповідно 8,1 і 7,5–7,8 років, а приблизно з 1997 р., коли починаються порушення 11-річної сонячної активності, відбувається майже повна синхронізація їх циклів.

Рівняння регресії багатофакторної моделі лінійного виду, що пов'язує стік ґрунтових вод до річки із трьома природними режимоформувальними чинниками за даними 1980–2016 рр., має вигляд

$$Q_{\text{підз.}} = 6,396 + 0,01198 \cdot P + 0,229 \cdot t - 0,0724 \cdot Q_{\text{пов.}} \quad (1)$$

де $Q_{\text{підз.}}$ – підземний стік, м³/міс./м; P – місячна сума опадів, мм; t – температура середньомісячна, °С; $Q_{\text{пов.}}$ – середні за місяць витрати річки Півд. Буг (пост с. Лелітка), м³/с.

Низькі характеристики моделі, а саме: коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,36$, коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,13$, рівень значущості за критерієм Фішера $p = 3,9 \cdot 10^{-13}$, $F = 21,724$, свідчать про наявність більш вагомих чинників, що впливають на підземний стік, які в моделі не враховано (фільтраційні параметри водоносного горизонту, гідродинамічні умови, геофізичні показники тощо), а головне – про некоректність об'єднання періодів різної водності з відмінною циклічністю. Рівняння не можна вважати досконалим та придатним для ефективного прогнозування на сучасному етапі, оскільки з 2015 р. відбувається загострення гідрогеологічної посухи (за РГВ).

На рис. 12 продемонстровано наскільки істотно можуть впливати тренди змін питомих витрат ґрунтових вод та опадів першого етапу на тренди другого етапу і навпаки, якщо їх не розділяти. Особливо значне відхилення на другому етапі (слабке зростання) від лінійного тренда першого етапу (стрімке зростання) спостерігається для витрат підземних вод. Тому, очевидно, що більш достовірним може бути прогнозування лише в межах певного етапу з умовно усталеним трендом. А вже тривалість цих етапів залежно від водності допомагає визначити вищенаведений аналіз циклічності у змінах показника режиму.

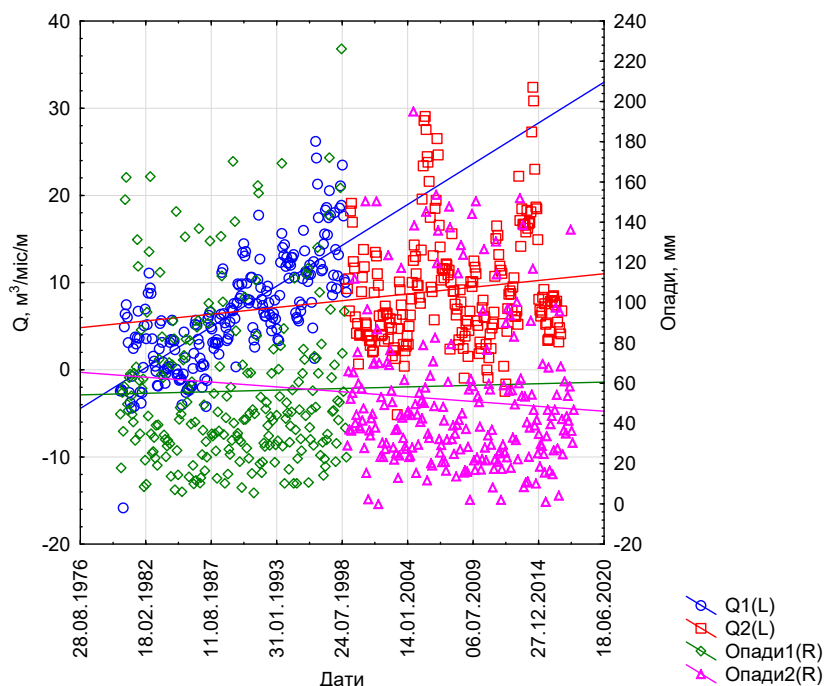


Рис. 12. Порівняння трендів витрат ґрунтових вод (Q) до р. Півд. Буг з лівобережної частини водозбору (м. Хмільник) та суми місячних атмосферних опадів (Опади), побудованих окремо за даними першого (1980–1998 рр.) – лінії Q1(L) та Опади1(R) та другого (1999–2016 рр.) – лінії Q2(L) та Опади2(R) етапів

Якщо гідрогеологічна посуха буде тривати й надалі та поглиблюватись, що повинно підтвердитись чіткою черговістю 5–6-річних циклів РГВ, то за отриманими для періоду після 2011 р. рівняннями регресії можна буде виконувати достовірні прогнози РГВ на наступний маловодний цикл (2031–2040 рр.)

Подібні поетапні та загальні для 1980–2016 рр. тренди отримано нами і для інших показників (Шевченко та др., 2019). Важливо відмітити, що якщо тренди опадів, підземного та поверхневого стоку на другому етапі

1999–2016 рр. помітно змінюються (поверхневий стік зменшується більш стрімко), то температура зростає майже з тією ж інтенсивністю (тренд не змінюється) і за 40 років збільшується більш ніж на 2 °С.

Отже, є достатньо підстав вважати, що вплив метеорологічних або кліматичних змін поширюється не лише на наземну гідросферу (Huang et al, 2017), а й на неглибокі (РГВ = 0,5...7,0 м) підземні води. Чітко виділяються 2 етапи різного впливу температурних змін на режим ґрунтових вод: 1 етап (1974–1998 рр.) – позитивного

впливу, з посиленням інфільтраційного живлення та широкомасштабними підтопленнями (Шевченко *и др.*, 2019; Sheffield and Wood, 2008) і 2-й етап (1999–2020 рр.) – зростаючої посухи. Під час цього другого, сучасного етапу в режимі ґрунтових вод, який доцільно назвати періодом *наростаючої нерівномірності стоку*, на перше місце за ступенем зв'язку із РГВ вийшов режим витрат стоку р. Півд. Буг (за середньомісячними витратами, м³/с) (Шевченко *и др.*, 2019). Це свідчить про те, що в умовах *зменшення кількості опадів* та частки суто поверхневого стоку в загальному стоці річки, зростає залежність загального річкового стоку від підземного. Нерівномірність підземного та поверхневого стоку спричинена нерегулярним розподілом місячних опадів, які змінюються в багаторічному плані без чіткої тенденції, але *із зменшенням річної суми*, що відмічають не лише в Україні (Степаненко *та ін.*, 2015), а й далеко за її межами (Groisman, 2005; Dai, 2013; Deng *et al.*, 2018).

На 1974–1975 та 1987–1989 рр. припадають певні граничні значення температури (або сукупності метеорологічних чинників, у тому числі перерозподіл опадів по сезонах), які спричинили відчутні зміни в режимі РГВ, спочатку на середньобаторічних глибинах 1,5–1,8 м від поверхні (свердловина № 5–3), а пізніше – на глибинах 3,0–4,4 м (св. № 5–5), призвівши до переходу і закріплення рівнів на вищих відмітках. Другою такою граничною датою став 2004 р. для вищих РГВ (св. № 5–3) та 2011–2013 рр. – для глибших. Вірогідно, формування 7–8-річної циклічності в режимі ґрунтових вод за останні 40 років пов'язане з динамікою температурних змін. Найбільш чітко 7–8-річні ритми проявлялися під час багатоводного етапу (1989–2014 рр.), коли зростання температури холодного періоду сприяло інфільтраційному живленню ґрунтових вод.

Результати наших досліджень у цілому не суперечать висновкам інших дослідників геофізичних процесів (Berri, 2010) у тому сенсі, що циклічні коливання показників режиму ґрунтових вод та їх режимоформувальних чинників певним чином залежать від коливань сонячної активності, місячно-сонячних приливних сил, швидкостей обертання Землі, а також від взаємодій цих та інших геофізичних процесів. Проте нині більш вагомим чинником впливу стають глобальні кліматичні зміни (Huang *et al.*, 2017; Hsin-Fu and Hsin-Li, 2019). Вони починаються з дефіциту опадів (метеорологічна посуха), що переростає у виснаження ґрунтової вологи (сільськогосподарська посуха), скорочення стоку (гідрологічна посуха), зниження РГВ (посуха ґрунтових вод) і, у підсумку, закінчуються соціально-економічними руйнуваннями (соціологічна посуха) (Mishra and Singh, 2010; Mukherjee *et al.*, 2018), якщо не вживати жодних заходів. З наших досліджень випливає, що посуха ґрунтових вод настає через 6–7 років після початку гідрологічної посухи. Щодо "соціологічної посухи", то вже зараз слід вживати термінових заходів для її запобігання (Pozzi *et al.*, 2013; Чарний та Шевченко, 2020).

Висновки. Аналіз ступеня гіпервипадковості інтерпольованих щодобових значень РГВ у свердловинах басейну р. Півд. Буг за період 1980–2020 рр. продемонстрував перехід у 1990–1993 рр. від випадкових змін у режимі РГВ до стану гіпервипадкових менш передбачуваних змін, що заставляє шукати нові методи оцінки та прогнозування показників режиму ґрунтових вод.

Для середньомісячних РГВ та витрат стоку до річки, переважно в діапазоні РГВ 1,5–3,8 м, виявлено чітку 7–8-річну циклічність, яка практично повністю збігається із циклічними змінами річкового стоку (8,3 роки) температури повітря (8 років), менше – опадів (8,7 років), проте зовсім не підпорядковується циклічності сонячної активності.

7–8-річні цикли у коливаннях рівня та витрат стоку ґрунтових вод з початком багатоводного циклу у 1987–1989 рр. (зростання температури зимового періоду) замінюють собою 5–6- та 10–11-річні "сонячні" цикли. Тобто нами встановлено, що 7–8-річна циклічність краще проявляється під час тривалих періодів високої та середньої водності, а 5–6- та 10–11-річна – у маловодні, посушливі періоди.

На різних частинах басейну р. Півд. Буг 7–8-річна циклічність після 2003–2004 рр. слабшає, а з початком маловодного циклу у 2015 р. – практично зникає для рівнів ґрунтових вод. Це може свідчити про "перебудову" звичайних циклів з причин кардинальних змін у характері живлення (відновлення запасів) ґрунтових вод. Такі зміни в їх режимі можуть бути пов'язані *із змінами кліматичної зональності*, тобто розширенням Степової зони на північ. Також приблизно з 2003 р. у режимі стоку річки Півд. Буг простежуються 11–12-річні та 5–6-річні цикли. Порушення в синхронних змінах 11-річного циклу сонячної активності в 2008–2009 рр. чітко збіглися з початком нового маловодного циклу в Україні.

Помічено вплив на терміни і тривалість певних видів циклічностей місцевих чинників – у першу чергу середньорічних РГВ. Якщо раніше, до початку глобального потепління, РГВ нижче 3,0 м у Лісостеповій зоні вважались практично недосяжними для сонячного тепла, то, починаючи з середини 80-х років минулого сторіччя підвищення температури позначається на режимі ґрунтових вод вже на глибинах 3,4–3,8 м, що більше характерно для Степової зони. Відчутні зміни в режимі ґрунтових вод з рівнями 1,5–2,5 м відбулися приблизно на 10–12 років раніше. На цих глибинах реакція циклічності РГВ на абсолютні багаторічні максимуми зимових температур відбулась ще у 1975 р.

Зіставлення трендів змін температури, опадів, поверхневого та підземного стоку до річок, з врахуванням зв'язків їх циклічностей, демонструє, що на фоні *зменшення середньомісячного та річного поверхневого стоку*, рівнів води в річках, поглиблення базису ерозії за останні 20 років, тренд підземного стоку *зберігає позитивну динаміку*, хоча дуже помітно знизився. При тому, що за останні 10 років кількість річних опадів зменшується (за винятком 2020 р.), тобто витрати ґрунтових вод не компенсуються живленням, все це свідчить про *прискорення і дуже загрозливе спрацювання запасів та зменшення ресурсів ґрунтових*, а за ними й напірних підземних вод. Отже, за всіма ознаками в досліджуваному басейні з 2015 р. почалась "посуха ґрунтових вод".

За результатами множинного кореляційного аналізу за останні десятиріччя температура вийшла на домінуючу позицію за впливом на режим ґрунтових вод (при РГВ від 1,5 до 4,0 м). Все це доводить, що прояви порушень циклічності в режимі ґрунтових вод можуть відбуватися під впливом потепління клімату. У той же час ритми температурних змін останніми роками *не збігаються із циклічністю сонячної активності*, що може свідчити про вплив антропогенних чинників на підвищення температури.

Розпочаті нами дослідження доводять ефективність застосування вейвлет-аналізу для виявлення циклів у режимі підземних вод, встановлення часу їх появи та затухання; відкривають шлях до пошуків закономірних періодичностей у змінах показників гідрогеологічного режиму і балансу на теренах інших водозбірних басейнів України, глобальних причин цих змін та місцевих чинників, що зумовлюють часову невтриманість окремих періодів. Знайдені закономірності слід використати для вдосконалення прогнозних моделей та більш точного передбачення наслідків впливу зростання температури на наземну і підземну гідросферу.

Список використаних джерел

- Бублясь, В.М., Шестопалов, В.М., Бублясь, М.В. (2008). Електрогеодинамічні явища в атмосфері і літосфері та їх вплив на масообмін. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 44, 67-72.
- Вольфцун, И.Б. (1972). Расчеты элементов баланса грунтовых вод. Ленинград.
- Гриневский, С.О., Маслов А.А. (2010). Режимные гидрогеологические наблюдения на территории Звенигородского учебного полигона. *Матлы междунар. науч. конф.: Ресурсы подземных вод. Современные проблемы изучения и использования, 13-14.05.2010, Москва*. Москва: МГУ им. Ломоносова, изд-во МАКС Пресс, 227-234.
- Давидіда, Л.І. (2014). Створення регіональних прогностичних геоінформаційних моделей глибини залягання рівнів ґрунтових вод. *Науковий вісник ІФНТУНГ*, 1(36), 26-35.
- Дубнов, П.Ю. (2004). Обработка статистической информации с помощью SPSS. Москва: ООО "Издательство АСТ"; "НТ Пресс".
- Зальцберг, Э.И. (1970). О цикличности колебаний уровня грунтовых вод. *Вопросы изучения и прогноза режима подземных вод*, 25, 69-80.
- Кац, Д.М. (1960). Основные причины многолетних колебаний грунтовых вод в орошаемых районах. *Разведка и охрана недр*, 7, 41-47.
- Ковалевский, В.С. (1973). Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод. Москва.
- Козловский, Б.І. (1995). Наукові основи моніторингу осушених земель. Львів.
- Конюплянцев, А.А., Семенов, С.М. (1979). Изучение, прогноз и картирование режима подземных вод. Москва.
- Коробейников, В.А. (1965). Циклические многолетние изменения уровня грунтовых вод и природных процессов. *Разведка и охрана недр*, 1, 48-53.
- Лаба, І.С., Янків-Вітковська, Л.М., Лісняк, П.Г., Підстригач, І.Я. (2013). Рівень активності Сонця в затягнутому і глибокому мінімумі циклів 23/24 та його вплив на кліматичну систему Землі. *Журнал фізичних досліджень*, 17, 3, 3902-1-3902-9.
- Лебедев, А.В. (1980). Формирование баланса грунтовых вод на территории СССР. Москва.
- Лукьянец, О.И., Каминская, Т.П. (2015). Закономерности и пространственная синхронность многолетних циклических колебаний водного стока рек Украинских Карпат. *Наук. вісник Чернівецького університету*, 744-745, 18-24.
- Осадчий, В.І., Бабіченко, В.М., Набіванець, Ю.Б., Скринник, О.Я. (2013). Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень. Київ.
- Рубан, С.А., Шинкаревський, М.А. (2005). Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. Київ: УкрДГРІ.
- Рудаков, В.П. (1993). О роли геодвижений волновой структуры в активизации геодинамических процессов в асейсмических регионах (на примере геодинамических явлений Русской платформы). *Докл. РАН*, 332 (4), 509-511.
- Стан підземних вод України у 2019 році. Щорічник. (2020). Київ: ДНВП "ГЕОІНФОРМ України".
- Степаненко, С.М., Польовий, А.М., Лобода, Н.С. та ін. (2015). Кліматичні зміни та їх вплив на сферу економіки України. Одеса.
- Токарев, Н.С. (1951). Ритмические колебания климата и их значение для режима поверхностных и подземных вод. *Труды ЛГПТ*, IX, 26-37.
- Уралов, О., Шевченко, О. (2001). Нові завдання експлуатаційних організацій та гідрогеолого-меліоративної служби. *Водне господарство України*, 3-4, 10-14.
- Чарний, Д.В., Шевченко, О.Л. (2020). Глобальне потепління та обумовлене ним зменшення водності джерел водопостачання як головний чинник зміни засадничих підходів до забору, очистки і використання води. *Водопостачання, водовідведення*, 3, 16-25.
- Шакирзанова, Ж.Р., Казакова, А.О. (2015). Гідрометеорологічні чинники і характеристики весняних водопіль в басейні р. Півд. Буг в сучасних кліматичних умовах. *Вісник Одеського держ. екол. унів.*, 19, 100-105.
- Шевченко, А.Л., Осадчий, В.І., Чарний, Д.В. (2019). Изменения режима, баланса и ресурсов подземных вод Полесья и лесостепи Украины под влиянием глобального потепления. *Вучоныя записки Бреськага універсітэта*, 15, 2, 117-128.
- Шестопалов, В.М., Бублясь, В.Н. (2016). О формировании западинно-канальных структур миграции. *Геологический журнал*, 3 (356), 73-88.
- Шинкаревский, М.А. (1973). Прогноз уровня грунтовых вод на основе площадной оценки закономерностей режима. *Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Украины*, 22-30.
- Эйгенсон, М.С. (1957). Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. Львов, 230.
- Berri, B.L. (2010). Heliogeophysical and Other Processes, Their Fluctuation Periods and Forecasts. *Geofiz. Prots. Biosfera*, 9, 4, 7-52.
- Currie, R.G. (1996). Variance contribution of luni-solar (Mn) and solar cycle (Sc) signals to climate data. *Int. J. of Climatology*, 16, 1343-1364.
- Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat. Climate Change*, 3, 52-58. doi:https://doi.org/10.1038/nclimate1633.
- Deng, S., Chen, T., Yang, N., Qu, L., Li, M., Chen, D. (2018). Spatial and temporal distribution of rainfall and drought characteristics across the Pearl River basin. *Sci. Total Environ.*, 619, 28-41.
- Diffenbaugh, N.S., Scherer, M., Ashfaq, M. (2013). Response of snow-dependent hydrologic extremes to continued global warming. *Nat. Climate Change*, 3, 379-384. doi:https://doi.org/10.1038/nclimate1732.
- Esper, J., Cook E.R., Schweingruber F.H. (2002). Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 295, 2250-2253.
- Gribovszki, Z., Kalicz, P., Kucsara, M. (2006). Streamflow characteristics of two forested catchments in Sopron Hills. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 2, 81-92. Отримано з http://publicatio.nyme.hu/131/1/gribovszki_kalicz_kucsara.pdf
- Gribovszki, Z., Szilagyi, J., Kalicz, P. (2010). Diurnal Fluctuations in Shallow Groundwater Levels and in Streamflow Rates and their Interpretation: A Review. *Papers in Natural Resources*, 978. *Journal of Hydrology*, 385, 371-383. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.02.001.
- Han, J., Singh, V.P. (2020). Forecasting of droughts and tree mortality under global warming: a review of causative mechanisms and modeling methods. *J. Water & Climate Change*, 11 (3), 600-632. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.239>
- Hello Solar Cycle 25. (2020). News Around NOAA. National weather service. Отримано з <https://www.weather.gov/news/201509-solar-cycle>.
- Hsin-Fu, Y. and Hsin-Li, H. (2019). Using the Markov Chain to Analyze Precipitation and Groundwater Drought Characteristics and Linkage with Atmospheric Circulation. *Sustainability*, 11 (6), 1817, 1-18. <https://doi.org/10.3390/su11061817>
- Huang, S., Li, P., Huang, Q., Leng, G., Hou, B., Ma, L. (2017). The propagation from meteorological to hydrological drought and its potential influence factors. *J. Hydrol.*, 547, 184-195.
- Groisman, P.Ya., Knight, R.W., Easterling, D.T.R., Gabriele, K., Hegerl, C., Razuvaev, V.N. (2005). Trends in Precipitation Intensity In The Climate Record. *Journal of climate*, 18 (9), 1326-1350. <https://doi.org/10.1175/JCLI3339.1>
- Grossmann, A., Morlet, J. (1984). Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. *SIAM J. Math. Anal.*, 15, 723-736.
- Liritzis, I., Fairbridge, R. (2003). Remarks on astrochronology and time series analysis of Lake Saka varved sediments. *J. Balkan Geoph. Soc.*, 6, 165-172.
- Mishra, A.K. Singh V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391 (1-2), 202-216. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.012
- Mukherjee, S., Mishra, A., Trenberth, K.E. (2018). Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports*, 4 (2), 145-163. doi:10.1007/s40641-018-0098-x
- Pozzi, W., Sheffield, J., Stefanski, R., Cripe, D., Pulwarty, R., Vogt, J.V., Heim, R.R., Brewer M.J., Svoboda, M., Westerhoff, R., van Dijk A.I.J.M., Lloyd-Hughes, B., Pappenberger, F., Werner, M., Dutra, E., Wetterhall, F., Wagner, W., Schubert, S., Kingtse Mo, Nicholson, M., Bettio, L., Nunez, L., van Beek, R., Bierkens, M., de Gonalves, L.G.G., de Mattos, J. G. Z., Lawford, R. (2013). Toward Global Drought Early Warning Capability: Expanding International Cooperation for the Development of a Framework for Monitoring and Forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94, 776-785.
- Sheffield, J., Wood, E.F. (2008). Global trends and variability in soil moisture and drought characteristics, 1950-2000, from observation-driven simulations of the terrestrial hydrologic cycle. *J. Clim.*, 21, 432-458.
- Shevchenko, O., Osadchii, V., Charnyi, D.V., Onanko, Y.A., Grebin, V.V. (2019). Influence of global warming on the groundwater resources of the Southern Bug River basin. *Proceedings of 18th International Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine, EAGE, art.no. 15890, 1-5*. doi.org/10.3997/2214-4609.201902071
- Shevchenko, O., Skorbut, A., Charnyi, D. (2020). Seven-year cyclicity manifestations in groundwater mode revealed by wavelet analysis. *Proceedings of 19th International Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine, EAGE, art.no. 18148, 1-5*. doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo005
- Solanki, S.K., Usoskin, I.G., Kromer, B., Schüssler, M., Beer, J. (2004). Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature*, 431, 1084-1087.
- Williams, G.R. (1961). Cyclical variations in the world-wide hydrological data. *J. of Hydraulic division*, 6, 71-88.

References

- Berri, B.L. (2010). Heliogeophysical and Other Processes, Their Fluctuation Periods and Forecasts. *Geofiz. Prots. Biosfera*, 9, 4, 7-52.
- Bublias' V.M., Shestopalov V.M., Bubyas' M.V. (2008). Electrodynamical phenomena in the atmosphere and lithosphere and their influence on mass transfer. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 44, 67-72. [in Ukrainian]
- Charnyi, D.V., Shevchenko, O.L. (2020). Global warming as a cause of declining water content in water sources, is a major factor in changing the main approaches to water intake, treatment and use. *Vodopostachannya, vodovidvedennya*, 3, 16-25. [in Ukrainian]
- Currie, R.G. (1996). Variance contribution of luni-solar (Mn) and solar cycle (Sc) signals to climate data. *Int. J. of Climatology*, 16, 1343-1364.
- Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat. Climate Change*, 3, 52-58. doi:10.1038/nclimate1633.
- Davibida, L.I. (2014). Creation of regional prognostic geoinformation models of depth of groundwater levels. *Naukovy visnyk IFNTUNG*, 1 (36), 26-35. [in Ukrainian]
- Deng, S., Chen, T., Yang, N., Qu, L., Li, M., Chen, D. (2018). Spatial and temporal distribution of rainfall and drought characteristics across the Pearl River basin. *Sci. Total Environ.*, 619, 28-41.
- Diffenbaugh, N.S., Scherer, M., Ashfaq, M. (2013). Response of snow-dependent hydrologic extremes to continued global warming. *Nat. Climate Change*, 3, 379-384. doi:10.1038/nclimate1732.
- Dubnov, P.Yu. (2004). Processing of statistical information using SPSS. Moscow. [in Russian]
- Eigenston, M.S. (1957). Essays on the physical and geographical manifestations of solar activity. Lviv. [in Russian]

- Esper, J., Cook E.R., Schweingruber F.H. (2002). Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 295 (5563), 2250–2253. doi:10.1126/science.1066208
- Gribovski, Z., Kalicz, P., Kucsara, M. (2006). Streamflow characteristics of two forested catchments in Sopron Hills. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 2, 81–92.
- Gribovski, Z., Szilagyi, J., Kalicz, P. (2010). Diurnal Fluctuations in Shallow Groundwater Levels and in Streamflow Rates and their Interpretation: A Review. *Papers in Natural Resources*. 978. *Journal of Hydrology*, 385, 371–383. Retrieved from <https://digitalcommons.unl.edu/natrespapers/978>.
- Grinevsky, S.O., Maslov, A.A. (2010). Regime hydrogeological observations on the territory of Zvenigorod training ground. *Materials Int. scientific conf.: Groundwater resources. Modern problems of study and use*, 13-14.05.2010, Moscow. Moscow.: MSU. Lomonosova, 227-234. [in Russian]
- Groisman, P.Ya., Knight, R.W., Easterling, D.T.R., Gabriele, K., Hegerl, C., Razuvayev, V.N. (2005). Trends in Precipitation Intensity In The Climate Record. *Journal of climate*, 18 (9), 1326-1350. doi: 10.1175/JCLI3339.1
- Grossmann, A., Morlet, J. (1984). Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. *SIAM J. Math. Anal.*, 15, 723-736.
- Han, J., Singh, V.P. (2020). Forecasting of droughts and tree mortality under global warming: a review of causative mechanisms and modeling methods. *J. Water & climate change*, 11 (3), 600-632. doi.org/10.2166/wcc.2020.239
- Hello Solar Cycle 25 (2020). News Around NOAA. National weather service. Retrieved from <https://www.weather.gov/news/201509-solar-cycle>.
- Hsin-Fu Y., Hsin-Li H. (2019). Using the Markov Chain to Analyze Precipitation and Groundwater Drought Characteristics and Linkage with Atmospheric Circulation. *Sustainability* 11 (6), 1817, 1-18. doi:10.3390/su11061817
- Huang, S., Li, P., Huang, Q., Leng, G., Hou, B., Ma, L. (2017). The propagation from meteorological to hydrological drought and its potential influence factors. *J. Hydrol.*, 547, 184–195.
- Katz, D.M. (1960). The main reasons for long-term fluctuations of groundwater in irrigated areas. *Razvedka i okhrana nedr*, 7, 41-47. [in Russian]
- Konoplyantsev, A.A., Semenov, S.M. (1979). Study, forecast and mapping of groundwater regime. Moscow. [in Russian]
- Korobeynikov, V.A. (1965). Cyclic long-term changes in the level of groundwater and natural processes. *Razvedka i okhrana nedr*, 1, 48-53. [in Russian]
- Kovalevsky, V.S. (1973). Conditions for the formation and forecasts of the natural regime of groundwater. Moscow. [in Russian]
- Kozlovsky, B.I. (1995). Scientific bases of monitoring of drained lands. Lviv. [in Ukrainian]
- Laba, I.S., Yankiv-Vitkovska, L.M., Lisnyak, P.G., Pidstryhach, I.Ya. (2013). The level of activity of the Sun in the long and deep minimum of cycles 23/24 and its impact on the Earth's climate system. *Zhurnal fizychnykh doslidzhen*, 17, 3, 3902-1-3902-9. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/jphd_2013_17_3_9. [in Ukrainian]
- Lebedev, A.V. (1980). Formation of the groundwater balance in the USSR. Moscow. [in Russian]
- Liritzis, I., Fairbridge, R. (2003). Remarks on astrochronology and time series analysis of Lake Sake varved sediments. *J. Balkan Geoph. Soc.*, 6, 165–172.
- Lukyanets, O.I., Kaminskaya, T.P. (2015). Regularities and spatial synchronicity of long-term cyclical fluctuations in the water flow of the rivers of the Ukrainian Carpathians. *Naukovyi Visnik of Chernivetskiy University*, 744-745, 18-24. [in Russian]
- Mishra, A.K., Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202-216. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.012
- Mukherjee, S., Mishra, A., Trenberth, K.E. (2018). Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports*, 4(2), 145–163. doi:10.1007/s40641-018-0098-x
- Osadchy, V.I., Babichenko, V.M., Nabyvanets, Yu.B., Skrynnyk, O.Ya. (2013). Dynamics of air temperature in Ukraine during the period of instrumental meteorological observations. Kyiv. [in Ukrainian]
- Pozzi, W., Sheffield, J., Stefanski, R., Cripe, D., Pulwarty, R., Vogt, J.V., Heim, R.R.Jr., Brewer M.J., Svoboda, M., Westerhoff, R., van Dijk A.I.J.M., Lloyd-Hughes, B., Pappenberger, F., Werner, M., Dutra, E., Wetterhall, F., Wagner, W., Schubert, S., Kingtse Mo, Nicholson, M., Bettio, L., Nunez, L., van Beek, R., Bierkens, M., de Goncalves, L.G.G., de Mattos, J. G. Z., Lawford, R. (2013). Toward Global Drought Early Warning Capability: Expanding International Cooperation for the Development of a Framework for Monitoring and Forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94, 776-785.
- Ruban, S.A., Shinkarevsky, M.A. (2005). Hydrogeological assessments and forecasts of the groundwater regime of Ukraine. Kyiv.: UkrDGRI. [in Ukrainian]
- Rudakov V.P. (1993). On the role of wave structure geo-movements in activating geodynamic processes in aseismic regions (on the example of geodynamic phenomena of the Russian platform). *Doklady RAS*, 332 (4), 509-511. [in Russian]
- Shakirzanova, Zh.R., Kazakova, A.O. (2015). Hydrometeorological factors and characteristics of spring floods in the basin of the Pivd. Bug in modern climatic conditions. *Visnyk of the Odessa state. ecol. univ.*, 19, 100-105. [in Ukrainian]
- Sheffield, J., Wood, E.F. (2008). Global trends and variability in soil moisture and drought characteristics, 1950–2000, from observation-driven simulations of the terrestrial hydrologic cycle. *J. Clim.*, 21, 432–458.
- Shevchenko, A.L., Osadchy, V.I., Charny, D.V. (2019). Changes in the regime, balance and resources of groundwater in Polesie and forest-steppe of Ukraine under the influence of global warming. *Vuchonyia zapiski Brestskaga universiteta*, 15, 2, 117-128. [in Russian]
- Shevchenko, O., Osadchy, V., Charny, D.V., Onanko, Y.A., Grebin, V.V. (2019). Influence of global warming on the groundwater resources of the Southern Bug River basin. *Proceedings of 18th International Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine, EAGE*, art.no. 15890, 1-5. doi:10.3997/2214-4609.201902071
- Shevchenko, O., Skorbun, A., Charny, D. (2020). Seven-year cyclicity manifestations in groundwater mode revealed by wavelet analysis. *Proceedings of 19-th International Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine, EAGE*, art.no. 18148, 1-5. doi:10.3997/2214-4609.2020geo005
- Shestopalov, V.M., Bublyas, V.N. (2016). On the formation of depression-channel structures of migration. *Geological journal*, 3 (356), 73-88. [in Russian]
- Shinkarevsky M.A. (1973). Forecast of the groundwater level based on the areal assessment of the regularities of the regime *Questions of hydrogeology and engineering geology of Ukraine*, 22-30. [in Russian]
- Solanki, S.K., Usoskin, I.G., Kromer, B., Schüssler, M., Beer, J. (2004). Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature*, 431, 1084–1087.
- Stepanenko, S.M., Field, A.M., Loboda, N.S. (2015). Climate change and its impact on the economy of Ukraine. Odesa. Retrieved from <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/klimatichni-zmini-dose.pdf> [in Ukrainian]
- The state of groundwater in Ukraine in 2019. (2020). Shchorichnyk. Kyiv: DNVP "GEOINFORM of Ukraine". Retrieved from 129.http://geoinf.kiev.ua/Shchorichnyk_PV_2019.pdf. [in Ukrainian]
- Tokarev, N.S. (1951). Rhythmic Climate Fluctuations and Their Significance for the Regime of Surface and Ground Waters. *Proceedings of LGHP*, IX. 26-37. [in Russian]
- Uralov, O., Shevchenko, O. (2001). New tasks of operational organizations and hydrogeological and reclamation service. *Vodne gospodarstvo of Ukraine*, 3-4, 10-14. [in Ukrainian]
- Williams, G.R. (1961). Cyclical variations in the world-wide hydrological data. *J. of Hydraulic division*, 6, 71–88.
- Wolfsun, I.B. (1972). Calculations of groundwater balance elements. Leningrad. [in Russian]
- Zaltsberg, E.I. (1970). On the cyclicity of fluctuations in the level of groundwater. *Issues of studying and forecasting the regime of groundwater*, 25, 69–80. [in Russian]

Надійшла до редколегії 29.01.21

O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Senior Resercher,
E-mail: shevch62@gmail.com;
Ukrainian Hydrometeorological Institute NAS of Ukraine,
37 Nauki Ave., Kyiv, 03028, Ukraine;
A. Skorbun, Dr. Sci. (Tech.), Senior Resercher,
E-mail: anskorbun@gmail.com;
Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine,
36a Kirova Str., Chornobyl, 07270, Ukraine;
V. Osadchy, Dr. Sci. (Geogr.), Corresponding Member of NAS of Ukraine,
E-mail: uhmi@uhmi.org.ua;
Ukrainian Hydrometeorological Institute NAS of Ukraine,
37 Nauki Ave., Kyiv, 03028, Ukraine;
D. Charny, Dr. Sci. (Tech.), Senior Resercher,
E-mail: dmitriych10@gmail.com;
The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine,
34-A Palladin Ave., Kyiv-142, MCP 03680, Ukraine

VARIABLE RHYTHMS IN GROUNDWATER REGIME AND THEIR RELATIONSHIP WITH CLIMATE FACTORS

Due to the anomalous changes in the groundwater regime over the past 5 years, the question arose about the adequacy and effectiveness of existing methods for predicting their level. The data of monitoring observations from 1951 in the upper part of the Southern Bug river basin are analyzed. The specific underground runoff to the river in the site of Khmilnyk was calculated by the finite difference method. It is established that at the end of the 80s of the last century a 7-8 year cycle began to appear in the fluctuations of the groundwater level (GWT) and groundwater runoff. It

correlates well with the cyclicity of the air temperature, and, to a lesser extent, with the cycles of the monthly amount of precipitation. Instead, such rhythms are not at all typical of solar activity, which is characterized by 11-year and 5-6-year cycles. It is in connection with them that the heliosynoptic method of long-term prediction of RGV is based. It is likely that temperature changes occurring on Earth may change the "sun-induced" cyclicity of GWT, so this method of forecasting becomes ineffective. As there is no clear link between temperature changes and solar activity, it is possible that temperature changes are caused by human activity. From 2013-2015, with the beginning of the low water cycle in the study area, the anomalous minima in the GWT mode became more frequent and the cycles were transformed in the direction of their reduction (up to 5-6 years), which may indicate sharp changes in the nature of groundwater storage recovery. Deviations from 8-year cycles and differences in their duration in different parts of the same catchment area are primarily related to differences of GWT.

Wavelet analysis was used as the main method of cyclic selection. Using multiple correlation analysis, it was found that in recent decades the temperature has reached a dominant position in terms of the impact on the groundwater regime (at their levels from 1.5 to 4.0 m). As a result, it was noted that our 7-8 year cycles are well traced during the relatively multi-water period caused by increased infiltration of groundwater due to increasing winter thaws (one of the most significant manifestations of global warming), and 5-6 year cycles correspond to low water periods.

Keywords: cyclicity, groundwater levels, underground runoff to the river, wavelet analysis, regime, temperature, solar activity, precipitation, observations, river Southern Bug.

А. Шевченко, д-р геол. наук, ст. науч. сотруд.,
E-mail: shevch62@gmail.com;
Український гідрометеорологічний інститут НАН України і ГСЧС України,
просп. Науки, 37, г. Київ, 03028, Україна;
А. Скорбун, д-р техн. наук, ст. науч. сотруд.,
E-mail: anskorbun@gmail.com;
Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України,
ул. Кірова, 36а, г. Черніобіль, Київська обл., 07270, Україна;
В. Осадчий, д-р геогр. наук, чл.-кор.,
E-mail: uhmi@uhmi.org.ua;
Український гідрометеорологічний інститут НАН України і ГСЧС України,
пр. Науки, 37, г. Київ, 03028, Україна;
Д. Чарний, д-р техн. наук, ст. науч. сотруд.,
E-mail: dmitriych10@gmail.com;
ГУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАНУ",
просп. акад. Палладіна, 34-А, г. Київ, 03680, Україна

ИЗМЕНЧИВЫЕ РИТМЫ В РЕЖИМЕ ГРУНТОВЫХ ВОД И ИХ СВЯЗЬ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

В связи с аномальными изменениями в режиме грунтовых вод за последние 5 лет возник вопрос об адекватности и эффективности существующих методов прогнозирования их уровня. Авторами проанализированы данные мониторинговых наблюдений с 1951 г. в верхней части бассейна реки Южный Буг. Методом конечных разностей рассчитан удельный подземный сток в реку в створе г. Хмельник. Установлено, что в конце 80-х годов прошлого столетия начала проявляться 7–8-летняя цикличность в колебаниях уровня грунтовых вод (УГВ) и подземного стока. Она хорошо коррелирует с цикличностью температуры приземного слоя воздуха, и в меньшей степени – с циклами месячной суммы атмосферных осадков. Зато подобные ритмы совсем не характерны для солнечной активности, для которой свойственны 11-летние и 5–6-летние циклы. Именно на связи с ними основывается гелиосиноптический метод долгосрочного прогнозирования УГВ. Вероятно, температурные изменения, которые происходят на Земле, способны нарушать закономерную "солнечно обусловленную" цикличность показателей режима грунтовых вод, поэтому этот метод прогнозирования перестает быть эффективным. Поскольку четкая связь между температурными изменениями и солнечной активностью не прослеживается, возможно, что температурные изменения вызваны деятельностью человека. С началом в 2013–2015 гг. маловодного для грунтовых вод исследуемой территории цикла наблюдаются частые аномальные минимумы в режиме УГВ и трансформация циклов в сторону уменьшения (до 5–6 лет), что может свидетельствовать о кардинальных изменениях в характере питания грунтовых вод и восстановления их запасов. Отклонение от 8-летних циклов и разница в их продолжительности на разных участках одного водосборного бассейна связаны, в первую очередь, с разницей в УГВ.

В качестве основного метода выделения цикличности применен вейвлет-анализ. С помощью множественного корреляционного анализа установлено, что за последние десятилетия температура вышла на доминирующую позицию по влиянию на режим грунтовых вод (при их уровнях от 1,5 до 4,0 м). В итоге отмечено, что выявленные нами 7–8-летние циклы хорошо прослеживаются в относительно многоводные периоды, вызванные увеличением инфильтрационного питания грунтовых вод вследствие утаивания зимних оттепелей (одно из достоверных проявлений глобального потепления), а 5–6-летние циклы коррелируются с маловодными периодами.

Ключевые слова: цикличность, уровень грунтовых вод, подземный сток в реку, вейвлет-анализ, режим, температура, солнечная активность, осадки, наблюдения, р. Южный Буг, факторы.

УДК 631.453:504.062

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.09>

В. Лопушняк¹, д-р с.-г. наук,
E-mail: lorushniak@i.ua;
Г. Грицуляк², канд. с.-г. наук,
E-mail: griksulyaka@ukr.net;
О. Тонха¹, д-р с.-г. наук, проф.,
E-mail: oksana16095@gmail.com;
О. Меньшов³, д-р геол. наук,
E-mail: menshov.o@ukr.net;
О. Піковська¹, канд. с.-г. наук, доц.,
E-mail: pikovska_olena@ukr.net;
С. Сичевський¹, асп.,
E-mail: sergii1836@gmail.com;

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна;

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, Україна;

³Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ВМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ГРУНТАХ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

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

Висвітлено результати досліджень вмісту важких металів у дерново-підзолистих ґрунтах нафтозабруднених територій Івано-Франківської області. Забруднення ґрунтів нафтопродуктами спричиняє важкі екологічні наслідки для екосистем. Метою досліджень було вивчення особливостей нагромадження важких металів у ґрунті, підземній частині та вегетативній масі сильфії пронизанолистої в умовах вирощування на нафтозабруднених територіях. Уміст рухомих форм важких металів у ґрунтах не перевищував норм у всіх варіантах досліджу. У процесі вирощування сильфії пронизанолистої він зростає у ряду: кадмій → нікель → кобальт → плумбум. Визначали коефіцієнт концентрації важких металів, що відображає зміну вмісту елемента у дослідному ґрунті відносно вмісту металів у фоновому ґрунті. Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сильфії пронизанолистої за внесення добрив на основі осаду стічних вод та компостів на їх основі зростає у ряду: кобальт → плумбум → нікель → кадмій. Встановлено особливості нагромадження важких металів у вегетативній масі рослини. Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами кореневої системи сильфії пронизанолистої за внесення осаду стічних вод зростають у ряді: кадмій → нікель → плумбум → кобальт. Максимальні індекси забруднення коренів сильфії пронизанолистої кадмієм, нікелем і кобальтом спостерігається за внесення у ґрунт ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, плумбумом – за внесення компосту у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$. Найменші індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів сильфії пронизанолистої відзначено за внесення у ґрунт добрива $N_{60}P_{50}K_{60}$.

Ключові слова: важкі метали, сильфія пронизаноліста, нафтозабруднена територія, акумулювативна здатність.

Постановка проблеми. Забруднення ґрунтів нафтою та продуктами її переробки спричиняє значні процеси деградації екосистем (Gaur and Adholeya, 2004). Завдяки адсорбуючим властивостям нафтопродукти тривалий час зберігаються в ґрунті, тим самим змінюючи фізико-хімічні та біологічні його властивості. Нафтохімічне забруднення з високим вмістом важких фракцій вуглеводнів утворюють на поверхні ґрунту щільну, в'язку бітумінозну кірку, яка утруднює газообмін між повітрям і середовищем ґрунту (Ghori et al., 2019; Hasegawa et al., 2009; Eissa, 2016). Крім цього, практично всі ґрунти, які піддавалися техногенному впливу внаслідок будівництва чи експлуатації нафтопроводів (продуктопроводів), зазнали техногенного впливу, забруднені важкими металами, іншими небезпечними речовинами тощо. Важкі метали особливо небезпечні внаслідок їх здатності до біоаккумуляції (Shtangeeva et al., 2004; Pehlivan et al., 2009; Mank et al., 2019; Tonkha et al., 2020).

Аналіз публікацій за темою досліджень. Ліквідацію та усунення негативних наслідків нафтових забруднень ґрунтового покриву здійснюють різними методами (спалювання, екстракція паром, промивання забрудненого нафтою ґрунту, сорбція, відновлення територій за допомогою ініційованого гумінового сорбенту, використання активованого торфу, очищення твердих поверхонь за допомогою гідрофобного органомінерального нафтового сорбенту і т.ін.) (Ghori et al., 2019; Gaur and Adholeya, 2004; Rakhshe et al., 2009). Аналіз літератури дає підстави стверджувати, що відомі механічні, хімічні та фізичні методи є довготривалими, потребують великих затрат і не забезпечують повноти очищення навколишнього природного середовища (Ghazala and

Setsuko, 2017; Ghori et al., 2019). Альтернативним і порівняно енергоощадним є метод фіторе mediaції нафтозабруднених територій, який ґрунтується на вирощуванні культурних рослин, зокрема енергетичних (свічграс, верба енергетична, міскантус, топінамбур та ін.), які інтенсивно нагромаджують вегетативну масу впродовж багатьох циклів вирощування акумулюють у сухій речовині значну кількість забруднюючих речовин з подальшим її відчуженням з поля. Однією з таких рослин-фіторе mediaнтів може бути сильфія пронизаноліста (*Silphium perfoliatum* L.) (Можарівська, 2020).

Останнім часом іде пошук енергозберігальних та швидкісних технологій визначення стану ґрунтового покриву територій впливу вуглеводнів. Таким критерієм відповідають геофізичні технології, зокрема магнітні дослідження ґрунтів (Menšov et al., 2020). Демонструється високий зв'язок між магнітними параметрами, зміною магнітної мінералогії ґрунтів під впливом вуглеводневого флюїду та локалізацією нафтопродуктів (Меньшов та ін., 2016). При цьому розглядається як потенційний вплив власне покладів нафти та газу, так і витоки вуглеводнів у процесі їх видобутку та транспортування. Зафіксовано вплив вуглеводнів на формування органічної речовини у ґрунтах та зв'язок з врожайністю, формування так званого фронту гуміфікації у ґрунтах, що розташовані на територіях витоків нафти і газу (Меньшов, 2018).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Стаття присвячена висвітленню особливостей вмісту валових і рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сильфії пронизанолистої, адже саме вирощування рослин-

фіторемедіантів дозволить відновити ґрунти техногенно забруднених територій.

Метою досліджень було вивчення особливостей нагромадження важких металів у ґрунті, підземній частині та вегетативній масі сільфії пронизанолістої в умовах вирощування на нафтозабруднених територіях.

Методика досліджень. Дослід закладений на території Передкарпаття, зокрема Південно-Гвіздецького родовища Надвірнянського нафтогазопромислового району в с. Битків Івано-Франківської області, на якій виробнича діяльність припинена 25 років тому. Сільфію пронизанолістої висівали за схемою 0,50х0,70 м. Ширина дослідної ділянки 5,0 м; довжина 7,0 м; облікова площа – 35 м². Як контрольну ділянку (фонову територію) (варіант 1 – контроль (без добрив)) обрано незабруднену ділянку дослідного поля. Ґрунт дослідного поля дерново-слабопідзолистий піщаний, зустрічаються окремі залишки нафтового розливу, так звані нафтові плями.

Під час вирощування сільфії пронизанолістої вносили удобрення у такій послідовності: 1. Контроль – без добрив; 2. N₆₀P₆₀K₆₀; 3. N₉₀P₉₀K₉₀; 4. ОСВ 20 т/га + N₅₀P₅₂K₇₄; 5. ОСВ 30 т/га + N₃₀P₃₃K₆₆; 6. ОСВ 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈; 7. компост (ОСВ + солома у співвідношенні 3:1) 20 т/га + N₅₀P₁₆K₆₇; 8. компост (ОСВ + солома у співвідношенні 3:1) 30 т/га + N₃₀K₅₅.

Впродовж чотирьох років експериментальних досліджень визначали вміст валових і рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої, а також вміст важких металів у зеленій масі та коренях рослини за апробованими методиками згідно з ДСТУ 4770.3 – ДСТУ 4770.9, атомно-адсорбційним методом у лабораторії Івано-Франківської філії ДУ "Держґрунтохорона".

Коефіцієнт біологічного поглинання визначали згідно з методиками за відношенням вмісту хімічного елемента у золі рослини до його валового вмісту у ґрунті (Корсун та ін., 2019; Саєт та ін., 1985). Коефіцієнти концентрації важких металів (Cd, Ni, Co, Pb) визначали за відношенням вмісту елемента у ґрунті до його вмісту у ґрунті фонові ділянки (варіант 1 – контроль) (Gaur and Adholeya, 2004; Rakhshe et al., 2009; Hinchman et al., 1995). Коефіцієнти рухомості важких металів визначали за відношенням вмісту рухомої форми досліджуваного металу до його валової форми у ґрунті (Shtangeeva et al., 2004; Roy et al., 2005).

Коефіцієнти переходу важких металів із кореневої системи сільфії пронизанолістої у надземну частину рослини розраховували за відношенням вмісту елемента у надземній частині рослини до його вмісту у коренях сільфії пронизанолістої (Ghosh et al., 2012). Коефіцієнти транслокації важких металів із ґрунту у надземну та кореневу частину рослини визначали за відношенням концентрації металу в зеленій частині до концентрації металу в ґрунті (Eissa, 2004).

Результати та їх обговорення. Вміст плюмбуму в контрольному варіанті (фоновий) склав 3,92 мг/кг ґрунту. Вміст кадмію та нікелю дорівнює 0,21 та 1,22 мг/кг ґрунту відповідно, вміст кобальту – 2,40 мг/кг ґрунту (для варіанту 1). Проте за внесення N₆₀₋₉₀P₆₀₋₉₀K₆₀₋₉₀ (варіанти 2 і 3) вміст кадмію та нікелю збільшився в межах 0,26–0,39 та 1,27–1,35 мг/кг ґрунту відповідно. Мінеральне добриво вносили у нафтозабруднений ґрунт для порівняння, оскільки його застосування забезпечує дещо нижчу продуктивність енергетичних культур, порівнюючи з іншими варіантами удобрення, та не призводить до покращення показників ґрунту в агроєкосистемах.

Гранично допустима концентрація рухомих форм для плюмбуму – 6,0 мг/кг ґрунту, для кадмію та нікелю 0,7 та 4,0 мг/кг ґрунту відповідно, для кобальту – 5,0 мг/кг ґрунту.

Найвищий вміст рухомих форм плюмбуму відзначено у ґрунті за внесення ОСВ 40 т/га і N₁₀P₁₄K₅₈ (варіант 6) та компосту у нормі 30 т/га та N₃₀P₃₃K₆₆ (варіант 8) і становить 4,54 та 4,48 мг/кг ґрунту відповідно (рис. 1 та 2). Вміст кадмію коливається відповідно до норм внесення удобрення, але його максимуму досягає у 6 варіанті і становить 0,55 мг/кг ґрунту, що на 0,21 мг/кг ґрунту більше за варіант, де вносили найменшу норму ОСВ (варіант 4).

Вміст нікелю змінюється в межах 1,27–1,53 мг/кг ґрунту, що на 0,05–0,31 мг/кг ґрунту перевищує контроль. Вміст нікелю у ґрунті за внесення свіжого ОСВ у нормі 40 т/га та N₁₀P₁₄K₅₈ становить 1,53 мг/кг ґрунту. Вміст кобальту у ґрунті змінювався відповідно до варіанту досліджень, найбільше його містилось у варіанті 6 – 2,63 мг/кг ґрунту, а найменше у варіантах, де вносили компост на основі ОСВ + солома у співвідношенні 3:1 у нормі 20 т/га та N₅₀P₁₆K₆₇ – 2,46 мг/кг ґрунту (варіант 7), а також у варіанті 2 (N₆₀P₆₀K₆₀).

Вміст валових форм досліджених елементів дещо відрізнявся, відповідно вміст плюмбуму коливався в межах 12,49 мг/кг ґрунту на контролі та 14,36 мг/кг ґрунту у варіанті 8 (компост (ОСВ + солома у співвідношенні 3:1) 30 т/га + N₃₀K₅₅), що на 1,87 мг/кг ґрунту більше за контроль. Вміст валових форм плюмбуму за внесення ОСВ у нормі 20–40 т/га становить 13,96–14,98 мг/кг ґрунту, що на 1,47–2,49 мг/кг ґрунту перевищує контроль.

Вміст валових форм кадмію за внесення ОСВ у нормі 20–40 т/га становить 0,71–0,84 мг/кг ґрунту, що на 0,07–0,2 мг/кг ґрунту перевищує контроль. Вміст валових форм нікелю змінюється в межах 25,01 мг/кг ґрунту на контролі та 27,96 мг/кг ґрунту у варіанті 6 (ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈). Вміст валових форм кобальту за внесення ОСВ у нормі 20–40 т/га становить 22,10–23,15 мг/кг ґрунту, що на 0,95–2,0 мг/кг ґрунту більше за контроль. Проте валові форми кобальту у варіантах 7 та 8 становлять 22,37 та 23,0 мг/кг ґрунту відповідно (рис. 2).

Гранично допустима концентрація для плюмбуму становить 30,0 мг/кг ґрунту, для кадмію і нікелю 3,0 і 85,0 мг/кг ґрунту відповідно, для кобальту 50,0 мг/кг ґрунту. Згідно з отриманими результатами досліджень у ґрунтах жоден з компонентів не перевищує норму у всіх варіантах досліду. Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах за вирощування сільфії пронизанолістої зростає у ряду: кадмій → нікель → кобальт → плюмбум.

Було визначено коефіцієнт концентрації важких металів, що відображає зміну вмісту елемента у дослідному ґрунті відносно вмісту металів у фоновому ґрунті (контроль).

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої за внесення добрив на основі осаду стічних вод та компостів на їх основі зростають у ряді: кобальт → плюмбум → нікель → кадмій. Коефіцієнти концентрації валових форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті під час вирощування сільфії пронизанолістої за внесення органічного удобрення на основі осаду стічних вод зростають у ряді: кобальт → нікель → плюмбум → кадмій (табл. 1). Величина коефіцієнта концентрації свідчить про активність процесів накопичення хімічних елементів у ґрунті.

Для того, щоб дізнатися можливість перетворення важких металів із валової форми у доступні для рослин рухомі форми, визначали коефіцієнт рухомості. Найвищу рухомість кадмію в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої спостерігали за внесення ОСВ у нормі 40 т/га і добрива N₁₀P₁₄K₅₈, максимальні коефіцієнти рухомості плюмбуму зафіксовані за внесення добрив N₆₀P₆₀K₆₀ та N₉₀P₉₀K₉₀. Нікель та кобальт проявляють стабільність показників їх рухомості у усіх варіантах досліду (табл. 2).

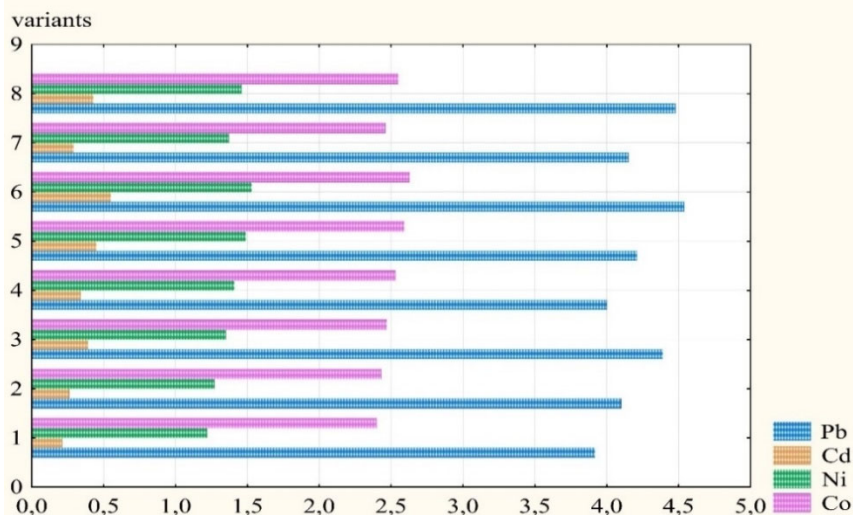


Рис. 1. Вміст рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої, середнє за 2016–2020 роки

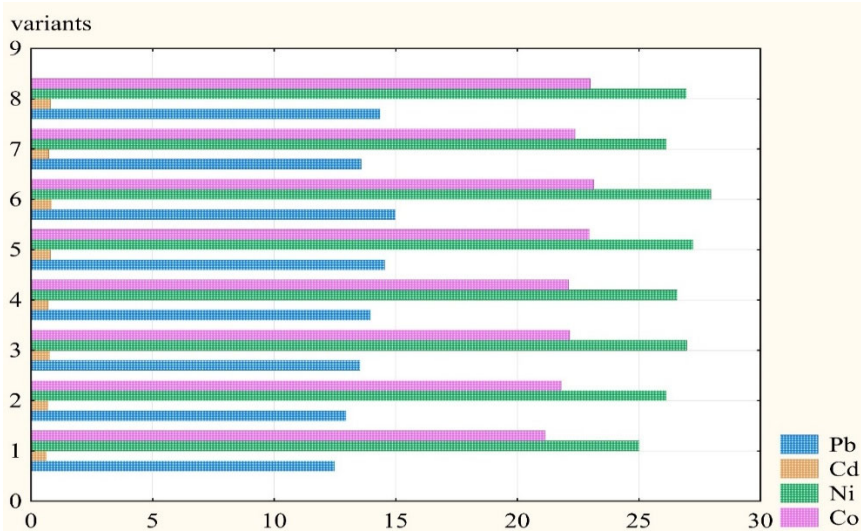


Рис. 2. Вміст валових форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої, середнє за 2016–2020 роки

Таблиця 1

Коефіцієнти концентрації важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої, середнє за 2016–2020 роки

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Pb	Cd	Ni	Co
	рухомих форм				валових форм			
$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,05	1,24	1,04	1,01	1,04	1,08	1,04	1,03
$N_{90}P_{90}K_{90}$	1,12	1,86	1,11	1,03	1,08	1,19	1,08	1,05
ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	1,02	1,62	1,16	1,05	1,12	1,11	1,06	1,04
ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	1,07	2,14	1,22	1,08	1,16	1,25	1,09	1,09
ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$	1,16	2,62	1,25	1,10	1,20	1,31	1,12	1,09
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$	1,06	1,38	1,12	1,03	1,09	1,14	1,04	1,06
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$	1,14	2,05	1,20	1,06	1,15	1,25	1,08	1,09

Таблиця 2

Коефіцієнти рухомості важких металів у дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої, середнє за 2016–2020 роки

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co
Без добрив (контроль)	0,31	0,33	0,05	0,11
$N_{60}P_{60}K_{60}$	0,32	0,38	0,05	0,12
$N_{90}P_{90}K_{90}$	0,32	0,51	0,05	0,13
ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	0,29	0,48	0,05	0,14
ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	0,29	0,56	0,05	0,14
ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$	0,30	0,65	0,05	0,15
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$	0,31	0,40	0,05	0,13
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$	0,31	0,54	0,05	0,13

Концентрації нікелю, свинцю, кобальту у зеленій масі сільфії пронизанолистої сягають максимальних значень за внесення ОСВ у нормі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6) і становить для свинцю 0,97 мг/кг рослини і тим самим перевищує контроль (варіант 1) на 0,46 мг/кг рослини. Вміст кобальту та нікелю становить 1,01 та 1,44 мг/кг рослини відповідно. Найвищий вміст кадмію у зеленій масі сільфії пронизанолистої за внесення компосту у нормі 30 т/га та $N_{30}K_{55}$ і становить 1,71 мг/кг рослини (варіант 8), що на 0,62 мг/кг рослини перевищує показник контролю (варіант 1).

Найменші концентрації усіх важких металів у зеленій масі сільфії пронизанолистої встановлено за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ (варіант 2) (рис. 3).

Індекс внутрішньо-тканинного забруднення рослин визначали за відношенням вмісту елемента у вегетативній частині рослини до вмісту елемента у вегетативній частині контрольних ролин. Визначаючи індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси сільфії пронизанолистої за внесення осаду

стічних вод відзначено підвищення у ряді: нікель → кадмій → свинець → кобальт (табл. 3).

Мінімальні індекси зафіксовані у варіанті 2 за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$, а найвищі індекси для нікелю, свинцю, кобальту – за внесення ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6). Для кадмію найнижчі значення внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси сільфії пронизанолистої встановлено за внесення ОСВ у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$ (варіант 5). Одержані експериментальні дані дозволяють констатувати, що в умовах нафтозабрудненого ґрунту із збільшенням внесення норм осаду стічних вод спостерігалось посилення накопичення металів коренями рослини. Про що свідчать значення індексів внутрішньотканинного забруднення – 1,6–1,9.

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами кореневої системи сільфії пронизанолистої за внесення осаду стічних вод зростають у ряді: кадмій → нікель → свинець → кобальт (табл. 3).

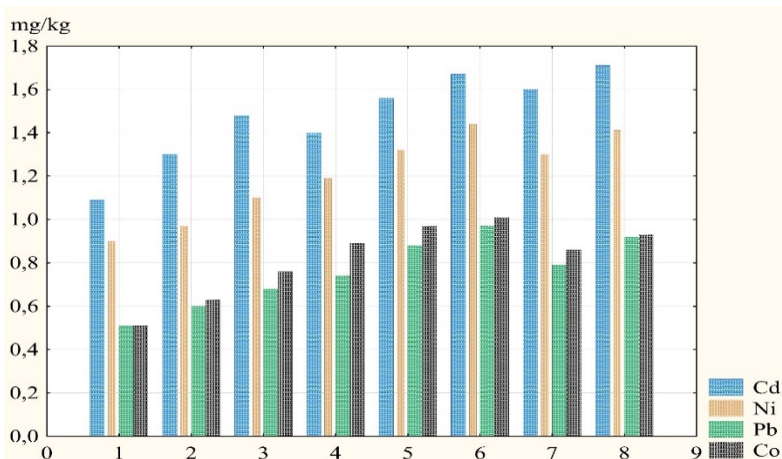


Рис. 3. Валовий вміст важких металів у зеленій масі сільфії пронизанолистої за внесення удобрення на основі осаду стічних вод, середнє за 2016–2020 роки

Таблиця 3

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами сільфії пронизанолистої за внесення осаду стічних вод, середнє за 2016–2020 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Co	Cd	Ni	Pb	Co
	Зелена маса				Корінь			
$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,19	1,08	1,18	1,24	1,03	1,01	1,10	1,07
$N_{90}P_{90}K_{90}$	1,36	1,22	1,33	1,49	1,05	1,03	1,16	1,14
ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{50}K_{74}$	1,28	1,32	1,45	1,75	1,10	1,08	1,22	1,27
ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	1,43	1,47	1,73	1,90	1,15	1,14	1,31	1,45
ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$	1,53	1,60	1,90	1,98	1,19	1,22	1,41	1,61
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$	1,47	1,44	1,55	1,69	1,13	1,11	1,35	1,48
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$	1,57	1,57	1,80	1,82	1,15	1,17	1,43	1,59

Максимальні індекси забруднення коренів сільфії пронизанолистої кадмієм, нікелем і кобальтом спостерігається за внесення у ґрунт ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6), свинцем – за внесення компосту у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$ (варіант 5). Найменші індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів сільфії пронизанолистої відзначено за внесення у ґрунт добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$ (варіант 2).

Висновки. На нафтозабруднених ґрунтах за внесення різних норм осаду стічних вод уміст рухомих форм важких металів за вирощування сільфії пронизанолистої зростає у ряді: кадмій → нікель → кобальт → свинець. Вміст валових форм важких металів зростає у ряді: кадмій → свинець → кобальт → нікель.

Аналіз концентраційних залежностей вмісту важких металів у системі ґрунт – рослина дає можливість використання рослин як біоіндикаторів забруднення довкілля нафтопродуктами.

Список використаних джерел

- Корсун, С.Г., Клименко, І.І., Болоховська, В.А., Болоховський, В.В. (2019). Транслокація важких металів у системі "ґрунт-рослина" за вапнування та впливу біологічних препаратів. *Агроекологічний моніторинг*, 1, 29-35. doi: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163245>.
- Манк, В., Тонха, О., Галімова, В., Суровцев, І., Меньшов, О., Бикова, О., Роговський, І. (2019). Електрохімічне дослідження процесів поглинання кобальту ґрунтами України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 86(3), 34-39.
- Меньшов, О., Кудеравець, Р., Попов, С., Хоменко, Р., Сухорада, А., Чоботок, І. (2016). Термамагнітний аналіз ґрунтів територій покладів вуглеводнів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 73(2), 33-37.

Меньшов, О. (2018). Роль магнетотактичних бактерій у формуванні природного магнетизму ґрунтів України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 80(1), 40-45.

Можарівська, І.А. (2020). Агроекологічна оцінка вирощування енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення Полісся України. *Агроеколог. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16*. Житомир. нац. агроекол. ун-т. Житомир.

Саєт, Ю.Е., Ревич, Б.А., Янин, Е.П. (1989). Геохимия окружающей среды. М.: Недра.

Тонха, О., Бикова, О., Піковська, О., Федосій, І., Меньшов, О., Шепель, А. (2020). Вміст кремнію, фізичні та хімічні властивості ґрунтів Хмельницької області України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 90(3), 85-90.

Eissa, M.A. (2014). Performance of river saltbush (*Atriplex amnicola*) grown on contaminated soils as affected by organic fertilization. *World Applied Science Journal*, 30, 1877-1881.

Eissa, M.A. (2016). Phosphate and organic amendments for safe production of okra from metal-contaminated soils. *Agronomy Journal*, 108, 2, 540-547.

Gaur, A., Adholeya A. (2004). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science*, 86, 4, 528-534.

Ghazala, M., Setsuko, K. (2017). Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants. *Plant Gene*, 11B, 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.02.020>.

Ghori, N.-H., Ghori, T., Hayat, M.Q., Imadi, S.R., Gul, A., Altay, V., Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 1807-1828.

Ghosh, A.K., Bhatt, M.A., Agrawal, H.P. (2012). Effect of long-term application of treated sewage water on heavy metal accumulation in vegetables grown in northern India. *Environ. Monit. Assess.*, 1842, 1025-1036.

Hasegawa, H., Rahman, M.A., Matsuda, T., Kitahara, T., Maki, T., Ueda K. (2009). Effect of eutrophication on the distribution of arsenic species in eutrophic and mesotrophic lakes. *Science of the Total Environment*, 407, 4, 1418-1425.

Hinchman, R.R., Negri, M.C., Gatiliff, E.G. (1995). Phytoremediation: using green plants to clean up contaminated soil, groundwater, and wastewater. Argonne National Laboratory Hinchman, Applied Natural Sciences.

Menshov, O., Spassov, S., Camps, P., Vyzhva, S., Pereira, P., Pastushenko, T., Demidov, V. (2020). Soil and dust magnetism in semi-urban area Truskavets, Ukraine. *Environmental Earth Sciences*, 79(8), 1-10.

Pehlivan, E., Özkan, A.M., Dinç, S., Parlayici, S. (2009). Adsorption of Cu²⁺ and Pb²⁺ ion on dolomite powder. *Journal of Hazardous Materials*, 167, 1-3, 1044-1049.

Rakhshae, R., Giah, M., Pourahmad, A. (2009). Studying effect of cell wall's carboxyl-carboxylate ratio change of *Lemna minor* to remove heavy metals from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 1, 165-173.

Roy, S., Labelle, S., Mehta, P. et al. (2005). Phytoremediation of heavy metal and PAH-contaminated brownfield sites. *Plant and Soil*, 272, 1-2, 277-290.

Shtangeeva, I., Laiho, J.V.-P., Kahelin, H., Gobran, G.R. (2004). Phytoremediation of metal-contaminated soils. *Symposia Papers Presented Before the Division of Environmental Chemistry*, American Chemical Society, Anaheim, Calif, USA.

References

Eissa, M.A. (2014). Performance of river saltbush (*Atriplex amnicola*) grown on contaminated soils as affected by organic fertilization. *World Applied Science Journal*, 30, 1877-1881.

Eissa, M.A. (2016). Phosphate and organic amendments for safe production of okra from metal-contaminated soils. *Agronomy Journal*, 108, 2, 540-547.

Gaur, A., Adholeya, A. (2004). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science*, 86, 4, 528-534.

V. Lopushnyak¹, Dr. Sci. (Agri.), Prof.,

E-mail: lopushniak@i.ua;

H. Hrytsulyak², PhD (Agri.),

E-mail: gritsulyaka@ukr.net;

O. Tonkha¹, Dr. Sci. (Agri.), Prof.,

E-mail: oksana16095@gmail.com;

O. Menshov³, Dr. Sci. (Geol.),

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

O. Pikovska¹, PhD (Agri.), Assoc. Prof.,

E-mail: pikovska_olena@ukr.net;

S. Sychevsky¹, PhD Student, E-mail: sergii1836@gmail.com;

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

17 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine;

²Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine;

³Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

Ghazala, M., Setsuko, K. (2017). Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants. *Plant Gene*, 11B, 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.02.020>.

Ghori, N.-H., Ghori, T., Hayat, M.Q., Imadi, S.R., Gul, A., Altay, V., Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 1807-1828.

Ghosh, A.K., Bhatt, M.A., Agrawal, H.P. (2012). Effect of long-term application of treated sewage water on heavy metal accumulation in vegetables grown in northern India. *Environ. Monit. Assess.*, 1842, 1025-1036.

Hasegawa, H., Rahman, M.A., Matsuda, T., Kitahara, T., Maki, T., Ueda K. (2009). Effect of eutrophication on the distribution of arsenic species in eutrophic and mesotrophic lakes. *Science of the Total Environment*, 407, 4, 1418-1425.

Hinchman, R.R., Negri, M.C., Gatiliff, E.G. (1995). Phytoremediation: using green plants to clean up contaminated soil, groundwater, and wastewater. Argonne National Laboratory Hinchman, Applied Natural Sciences.

Korsun, S.H., Klymenko, I.I., Bolokhovs'ka, V.A., Bolokhovs'kyi, V.V. (2019). Translocation of heavy metals in the "soil-plant" system under liming and exposure to biological drugs. *Agroecological monitoring*, 1, 29-35. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163245>. [in Ukrainian]

Mank, V., Tonkha, O., Galimova, V., Surovtsev, S., Menshov, O., Bukova, O., Rogovskiy, I. (2019). Electrochemical investigation of cobalt absorption processes by soils of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 86(3), 34-39. [in Ukrainian]

Menshov, O., Kuderavets R., Popov S., Homenko R., Sukhorada A., Chobotok I. (2016). Thermomagnetic analyzes of soils from the hydrocarbon fields. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 73(2), 33-37. [in Ukrainian]

Menshov, O. (2018). The role of magnetotactic bacteria in formation of natural magnetism of soils in Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 80(1), 40-45. [in Ukrainian]

Menshov, O., Spassov, S., Camps, P., Vyzhva, S., Pereira, P., Pastushenko, T., Demidov, V. (2020). Soil and dust magnetism in semi-urban area Truskavets, Ukraine. *Environmental Earth Sciences*, 79(8), 1-10.

Mozharivs'ka I.A. (2020). Agroecological assessment of growing energy crops in terms of radioactive contamination of Polissya of Ukraine. *Extended abstract of Candidate's thesis (Agri.): 03.00.16. Zhytomyr. nat. agroecol. un-t. Zhytomyr*. [in Ukrainian]

Pehlivan, E., Özkan, A.M., Dinç, S., Parlayici, S. (2009). Adsorption of Cu²⁺ and Pb²⁺ ion on dolomite powder. *Journal of Hazardous Materials*, 167, 1-3, 1044-1049.

Rakhshae, R., Giah, M., Pourahmad, A. (2009). Studying effect of cell wall's carboxyl-carboxylate ratio change of *Lemna minor* to remove heavy metals from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 1, 165-173.

Roy, S., Labelle, S., Mehta, P. et al. (2005). Phytoremediation of heavy metal and PAH-contaminated brownfield sites. *Plant and Soil*, 272, 1-2, 277-290.

Saet, Yu.E., Revich, B.A., Yanin, E.P. (1989). Environmental Geochemistry. Moscow: Nedra. [in Russian]

Shtangeeva, I., Laiho, J.V.-P., Kahelin, H., Gobran, G.R. (2004). Phytoremediation of metal-contaminated soils. *Symposia Papers Presented Before the Division of Environmental Chemistry*, American Chemical Society, Anaheim, Calif, USA.

Tonkha, O., Bukova, O., Pikovska, O., Fedosiya, I., Menshov, O., Shepel, A. (2020). Silicon content, physical and chemical properties of soils of the Khmelnytsky region of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 90(3), 85-90. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 05.01.21

CONTENT OF HEAVY METALS IN SOILS OF OIL-POLLUTED AREAS OF PRE-CARPATHIAN

The article highlights the results of research on the content of heavy metals in sod-podzolic soils of oil-contaminated areas of Ivano-Frankivsk region. Contamination of soils with petroleum products causes severe ecological consequences for ecosystems. The aim of the research was to study the peculiarities of the accumulation of heavy metals in the soil, underground part and vegetative mass of *Silphium perforatum* in the conditions of cultivation in oil-contaminated areas. The content of mobile forms of heavy metals in soils did not exceed the norms in all variants of the experiment. During the cultivation of *Silphium perforatum*, it grew in a number: cadmium → nickel → cobalt → lead. The concentration of heavy metals in the soil

was determined, which reflects the change in the content of the element in the test soil relative to the content of metals in the background soil. The coefficients of concentration of mobile forms of heavy metals in oil-contaminated soil for the cultivation of perforated sylphia for the application of fertilizers based on sewage sludge and compost based on them increased in a number: cobalt → lead → nickel → cadmium.

Peculiarities of heavy metals accumulation in the vegetative mass of perforated sylphia have been established. Indices of intra-tissue heavy metal contamination of the root system of sylphia perforated with the introduction of sewage sludge increase in the following series: cadmium → nickel → lead → cobalt. The maximum indices of contamination of sylphia roots permeated with cadmium, nickel and cobalt are observed for the introduction into the soil of ERUs at a rate of 40 t / ha and $N_{10}P_{14}K_{58}$, lead – for the application of compost at a rate of 30 t/ha and $N_{30}K_{55}$. The lowest indices of intra-tissue contamination with heavy metals of the roots of sylphia perfoliatum were noted for the application of fertilizer $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Keywords: heavy metals, sylphia perforated sheet, oil-contaminated territory, accumulative capacity, translocation, remediation.

В. Лопушняк¹, д-р с.-х. наук,

E-mail: lopushniak@i.ua;

Г. Грицуляк², канд. с.-х. наук,

E-mail: gritsulyaka@ukr.net;

О. Тонха¹, д-р с.-х. наук, проф.,

E-mail: oksana16095@gmail.com;

А. Меньшов³, д-р геол. наук,

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

Е. Пиковская¹, канд. с.-х. наук, доц.,

E-mail: pikovska_olena@ukr.net;

С. Сычевский¹, асп.,

E-mail: sergii1836@gmail.com;

¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,

ул. Героев обороны, 17, г. Киев, 03041, Украина;

²Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа,

ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина

³Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

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

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИКАРПАТЬЯ

Освещены результаты исследований содержания тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах нефтезагрязненных территорий Ивано-Франковской области. Загрязнение почв нефтепродуктами вызывает тяжелые экологические последствия для экосистем. Целью исследований было изучение особенностей накопления тяжелых металлов в почве, подземной части и вегетативной массе сальвии пронизанолистой в условиях выращивания на нефтезагрязненных территориях. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах не превышало норм во всех вариантах опыта. При выращивании сальвии пронизанолистой оно увеличивается в ряду: кадмий → никель → кобальт → свинец. В почве определяли коэффициент концентрации тяжелых металлов, отражающий изменение содержания элемента в исследуемой почве относительно содержания металлов в фоновой почве. Коэффициенты концентрации подвижных форм тяжелых металлов в нефтезагрязненной почве при выращивании сальвии пронизанолистой при внесении удобрений на основе осадка сточных вод и компостов на их основе увеличивались в ряду: кобальт → свинец → никель → кадмий. Установлены особенности накопления тяжелых металлов в вегетативной массе сальвии пронизанолистой. Индексы внутренне-тканевого загрязнения тяжелыми металлами корневой системы растения при внесении осадка сточных вод растут в ряду: кадмий → никель → свинец → кобальт. Максимальные индексы загрязнения корней сальвии пронизанолистой кадмием, никелем и кобальтом наблюдаются при внесении в почву ОСВ в норме 40 т/га и $N_{10}P_{14}K_{58}$, свинцом – при внесении компоста в норме 30 т/га и $N_{30}K_{55}$. Наименьшие индексы внутренне-тканевого загрязнения тяжелыми металлами корней сальвии пронизанолистой отмечены при внесении в почву удобрения $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Ключевые слова: тяжелые металлы, сальвия пронизанолистая, нефтезагрязненная территория, аккумулятивная способность.

УДК 551.444:550.805

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.10>

О. Медведєва, асп.,
E-mail: mdvdlv_olga@ukr.net;
Інституту водних проблем і меліорації НААН України,
вул. Васильківська, 37, Київ, 03022 Україна;
І. Кошлякова, інж.,
E-mail: irkos@ukr.net;
О. Диняк, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: dyniak_o_v@knu.ua;
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ "Інститут геології",
вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ГІДРОХІМІЧНИЙ СТАН ҐРУНТОВИХ ВОД У МЕЖАХ МІСТА ТАТАРБУНАРИ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

Розглянуто гідрохімічний стан ґрунтових вод у межах міста Татарбунари Одеської області. Нині якість води є загальною проблемою не тільки для міста, а й для всієї Одеської області та країни загалом. Окрім цього, проблемам маленьких міст чи сіл не надається належна увага, що призводить до ще більшого загострення проблеми. У м. Татарбунари поверхневі джерела водопостачання відсутні. Як для господарсько-побутових, так і для питних потреб використовуються переважно води верхньосарматського водоносного горизонту. Об'єктом дослідження є ґрунтові води перших від поверхні водоносних горизонтів. Предмет дослідження – хімічний стан ґрунтових вод у межах міста.

Об'єктивну оцінку стану вод у межах міста можливо надати тільки базуючись на даних спостереження за гідрохімічним складом ґрунтових вод. Для цього необхідно проводити систематичні моніторингові спостереження: мати мережу спостережних пунктів і відповідний картографічний матеріал. Дослідження проводилися в п'ять етапів, що включали польові та камеральні роботи, відбір проб води на хімічний аналіз та опрацювання отриманих результатів.

Досліджено хімічний склад води по 23 криницях у межах м. Татарбунари. Було визначено 16 показників та віднесено води до певного класу та типу вод за відповідними показниками з урахуванням класифікації Альокіна. Окрім цього, результати аналізів були зіставлені з показниками гранично допустимих концентрацій (ГДК) для водопостачання з криниць. За результатами випробування було виділено два типи вод, а саме води помірної мінералізації (19 проб) і води високо мінералізовані (4 проби). Усі вони належать до класу сульфатних вод. З них у 15 пробах переважає іон натрію, ще в п'яти – іон кальцію, а в трьох – іон магнію.

Виявлено, що вода за багатьма показниками перевищує ГДК та є непридатною для питного водоспоживання (вміст нітритів і фосфатів у межах ГДК). Відповідно до визначеного вмісту шкідливих речовин у воді потрібно або усувати їх наявність шляхом водопідготовки – встановлення фільтрів на джерела водопостачання, або ж переходити на споживання для питних потреб бутильованої води. Крім того, необхідно приймати нормативні документи щодо утримання криниць і відповідальності користувачів за забруднення ґрунтових вод.

Ключові слова: гідрохімічний стан, ГДК, ґрунтові води, криниці.

Вступ. Увага до якості питної води і води у водних джерелах у країнах світу стрімко зростає в період і по закінченню декади питного водозабезпечення, проведеної в 1981 атомно адсорбційним методом 1989 рр. з ініціативи Організації Об'єднаних Націй (ООН) і Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). Глобальний характер загострення водно-екологічної обстановки, яка підсилює кількісний і якісний дефіцит води, придатної для питних і господарсько-побутових цілей, зростання захворюваності і смертності населення, зумовлені несприятливою дією водного фактору, неодноразово розглядалися і на Всесвітніх водних форумах (Марракеш-1997, Гаага-2000, Париж-2000, Берлін-2001, Мельбурн-2002, Кіото-2003, Мехіко-2006, Стамбул-2009, Марсель-2012, Тегу-Кенгбук-2015, Бразилія-2018), конгресах ЕКВАТЕК (Москва, 1994–2006 рр.) і ЕТЕВК (Ялта, 1998–2000 рр.), АКВА-Україна (2002–2019 рр.), на всесвітніх Самітах глав держав у Ріо-де-Жанейро (1992 р.) і Йоганнесбурзі (2002 р.) та інших, що засвідчує важливе значення водного фактору в екологічно стійкому розвитку людства (Стрикаленко, 2003; World Health Organization and UNICEF, 2016).

Наявність і якість води є не менш важливою темою і для України, а особливо для її південних регіонів, до яких належить і Татарбунарський район. За даними "Національної доповіді про якість води та стан питного водопостачання в Україні у 2017 році", в Одеській області централізованим водопостачанням охоплено населених пунктів (НП), відповідно: міста – 100 %, селища міського типу (СМТ) – 100 %, сільські населені пункти (СНП) – 79,4 % (Національна доповідь, 2018). При цьому 94 % НП забезпечені цілодобовим водопостачанням. У 44 НП (4 міста, 2 СМТ та 38 сіл) водопостачання здійснюється

за графіком. Користуються привізною питною водою 11,9 % НП.

Проблема водопостачання сільського населення, малих міст і СМТ вже тривалий час є однією з найскладніших соціальних проблем в Україні. Якщо у великих містах централізованим водопостачанням забезпечено майже 95–100 % їх мешканців, то в сільській місцевості тільки кожен четвертий з 14 млн осіб сільського населення має можливість споживати якісну питну воду. Близько 6,5 тисяч сіл (кожне п'яте село від їх загальної кількості) мають питні водопроводи господарсько-побутового призначення. Більше половини проб питної води з підземних джерел у сільській місцевості не відповідають чинним стандартам та нормативам.

На сучасному етапі розвитку суспільства внаслідок зміни екологічної рівноваги Україна, як і інші держави світу, потерпає від природних та техногенних катастроф. Насамперед це стосується шкідливої дії вод – підтоплення, затоплення і, як наслідок – зміна в бік погіршення якості ґрунтових, підземних та поверхневих вод. І якщо розв'язанню таких проблем у великих містах ще подекуди приділяється увага, то в малих містах та сільських населених пунктах такі питання практично не вирішуються. Наприклад, підтоплення є одним з чинників підсилення соціальної напруги в сільській місцевості і внутрішньої міграції з сіл до міст.

Місцеві громади без фахової допомоги намагаються вирішити проблеми шкідливої дії вод. На сесіях або виконкомках дедалі частіше почали приймати програми та ухвали щодо вирішення вищезазначених проблем. Цьому в тому числі сприяє процес децентралізації, який дає більшу ініціативу при розподіленні пріоритетів використання власних коштів. Однією з таких програм є

програма Татарбунарської міської ради "Чисті джерела на 2018–2020 роки", яка була затверджена двадцять другою сесією VIII скликання від 16.02.2018 р., в якій автори брали безпосередню участь. Програма робіт передбачала визначення кількості і стану криниць загального користування і якості води з них з урахуванням придатності для питного забезпечення.

Постановка проблеми. Південь Бессарабії – Буджацький степ у всі часи відчував велику потребу у воді, особливо придатній для питних цілей. Найбільш гостро ця проблема постає в м. Татарбунари і районі в цілому. Для питних і господарсько-побутових цілей використовуються в основному ґрунтові води, які викриваються численними криницями, води понтичного водоносного горизонту, який виходить на поверхню у вигляді джерел, а також води опадів і танення снігу. З 1940 р. до сьогодні на території району було влаштовано понад 230 свердловин різноманітного призначення на понтичний і верхньосарматський водоносні горизонти, більшість з яких нині не працюють (Медведев, 2001). Окрім цього, зросла чисельність криниць, кількість яких достеменно невідома.

У м. Татарбунари поверхневі джерела водопостачання відсутні. Як для господарсько-побутових, так і для питних потреб використовуються води із свердловин, улаштованих на верхньосарматський водоносний горизонт. Колодязі загального та індивідуального користування розкривають перші від поверхні водоносні горизонти. У деяких селах району (Струмок, Спаське, Баштанівка і Дельжилер) окрім цього з 2010 р. почали використовувати води р. Дунай з групового трубопроводу. Тому питання вивчення хімічного стану перших від поверхні водоносних горизонтів та надання рекомендацій стосовно поліпшення якості води є актуальним для м. Татарбунари Одеської області.

Огляд літератури. Проблемами водозабезпечення та якості ґрунтових вод регіону займалися Р. Баєр, І. Зеленін, Б. Лютаєв, М. Ротар та О. Ліходєдова, які розглядали переважно проблеми техногенного забруднення вод і геологічного середовища в цілому в межах Одеської області. І. Носирєв, В. Кадурін, А. Чепіжко та ін. займалися виділенням основних видів еколого-геологічних аномалій і структурою захворюваності на території Одеської області. У коло інтересів входило вивчення динаміки рівневого та гідрохімічного стану ґрунтових водоносних горизонтів на масивах зрошення і населених пунктах південного заходу Одещини, і в тому числі в межах Татарбунарського району. При цьому був започаткований підхід вивчення стану ґрунтових вод у межах кожного СНП за відсутності стаціонарних свердловин для спостереження. В основу було покладено вивчення викритих водоносних горизонтів у вигляді криниць з узагальненням отриманих даних на картах десятитисячного масштабу.

Автори статті у своїх попередніх дослідженнях сконцентрували увагу на вивченні динаміки ґрунтових вод, їхнього впливу на процеси підтоплення та на використання ґрунтових вод для господарсько-питних потреб у межах СНП (Медведев, 2001, 2002; Медведева, 2016). Було запропоновано для узагальнення аналізу отриманих даних та апроксимації використовувати ГІС-технології, а саме метод зворотних зв'язаних відстаней (ЗЗВ) (Медведева, Диняк, 2018; Miedvedieva, Dyniak, 2018).

Практично у всіх вищезазначених роботах розглядалися проблеми водозабезпечення та якості підземних вод СНП, а також стан водозабезпечення в самому місті, хоча згідно з "Національною доповіддю про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2017 році" (Національна доповідь, 2018) м. Татарбунари є одним з чотирьох міст, де вода подається за графіком, а хімічний склад водопровідної води не відповідає стандарту якості за показником мінералізації, органічними і мікробіологічними показниками.

Методологія дослідження. Об'єктивну оцінку стану ґрунтових вод у межах м. Татарбунари можливо дати тільки на базі слідкування за їх гідрохімічним складом. Для цього необхідно проводити систематичні моніторингові спостереження, мати мережу спостережних пунктів і відповідний картографічний матеріал. Робота проводилася в декілька етапів, а саме:

I етап: камеральна підготовка (вивчення літературних і фондових матеріалів різноманітних організацій і установ по території району робіт; збір статистичних даних; підготовка картографічного матеріалу, нанесення на карти режимно-спостережної мережі; розробка та складання планів проведення польових робіт: підготовка "чорнових" карт, визначення та складання умовних позначень, визначення маршрутів досліджень).

II етап: польові роботи (проведення вимірів рівня ґрунтових вод і потужності викритого водоносного горизонту; опис інформації про стан криниці; записи стосовно додаткових джерел надходження води та можливих джерел забруднення).

III етап: польові роботи – відбір проб води (відбір води за відповідними правилами відбору, вимірювання температури води та повітря, опис погоди).

IV етап: лабораторні дослідження (проведення лабораторних досліджень Одеською гідрогеолого-меліоративною експедицією (нині ВП "Причорноморський ЦВРГ").

V етап: камеральні роботи (аналіз отриманих даних, виділення типів води, визначення якості та придатності для питних й господарсько-побутових цілей) (Методика проведення, 2002).

Основні результати. Всього на території м. Татарбунари було виявлено 57 криниць загального користування, тобто тих, що використовують або можуть використовувати три і більше родин. Всі вони розміщені на вулицях, переважно за межами подвір'я (будівель). Для дослідження хімічного складу ґрунтових вод було взято 23 криниці, які були вибрані з урахуванням глибини залягання рівня ґрунтових вод та їх потужності, розташування в рельєфі, а також для рівномірного покриття території дослідження. Якість води визначалася за 16 показниками. Окрім цього, результати аналізів були зіставлені з показниками ГДК для водопостачання з криниць (СанПІН №384-96, 1996).

За результатами виробування, з урахуванням класифікації О.А. Альокіна (Гордєєв і др., 1981), яка поділяє природні води за переважаючими іонами і співвідношенням між ними, було виділено два типи вод, а саме: води помірної мінералізації (19 проб) і води високомінералізовані (4 проби). Усі вони належать до класу сульфатних вод. З них у 15 пробах переважає іон натрію, ще в п'яти – іон кальцію, а в трьох – іон магнію. Води сульфатно-натрієві знаходяться в північній і в південно-західній частині міста і займають близько 37 % території. Другими за поширенням (27 %) є сульфатно-кальцієві води, які зосереджені переважно в південно-західній частині міста. Хлоридно-сульфатні натрієві води відмічені в південно-східній частині та фрагментарно в північній, займаючи при цьому близько 16 % території. Сульфатні натрієво-магнієві і сульфатні магнієво-натрієві води спостерігаються у східній та північно-східній частинах міста і становлять 8,2 % та 7,6 % відповідно. Сульфатні магнієві води мають фрагментарне поширення в західній частині міста (рис. 1).

За показником мінералізації ґрунтові води поділяються на слабо солонуваті, сильно солонуваті і солоні. В одній пробі зафіксована мінералізація менша за 1 г/дм³, що дає змогу віднести дану воду до групи прісних вод. Слабо солонуваті води (мінералізація 1–3 г/дм³) займа-

ють близько 38 % площі і знаходяться переважно у південно-західній частині міста й частково, фрагментарно, у центральній. Солоні води (мінералізація >5 г/дм³) розташовані фрагментарно в північно-східній та південно-

східній частинах і займають близько 20 % території. На більшості території (42 %) води належать до сильно солонуватих з мінералізацією від 3 до 5 г/дм³ (рис. 2).



Рис. 1. Картосхема типу ґрунтових вод у м. Татарбунари

Вміст хлоридів змінюється в діапазоні від 35 до 1187 мг/дм³, але на більшості території показники лежать у межах 350–700 мг/дм³. Перевищення ГДК за вмістом хлоридів майже у два рази спостерігається на 27 % території (північно-східна частина міста та частково південно-східна). Фрагментарно фіксується перевищення більш ніж у два рази.

Вміст нітратів залежно від місця розташування пункту відбору змінювався в широких межах – від 4 до 758 мг/дм³, 40 % проб фіксували наявність нітратів у кількості 300–400 мг/дм³ і більше, ще в 28 % – менше 45 мг/дм³. На більшості території спостерігаються перевищення ГДК у три-п'ять разів (44 %). Це насамперед центральна, південно-західна і північна частини. Перевищення від п'яти разів й більше фіксується на 24 % площі

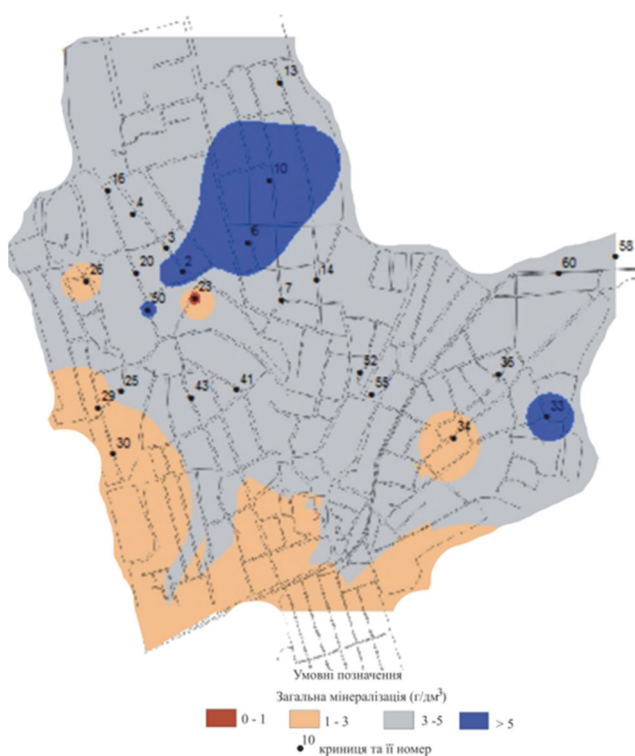


Рис. 2. Картосхема загальної мінералізації ґрунтових вод

(західна, північно-східна і східна частини міста), від одного до трьох разів – в південно-східній і фрагментарно в північній, західній і центральній частинах (рис. 3).

Вміст сульфатів варіює в межах від 542 до 4208 мг/дм³, причому більшості території має показники понад 500 мг/дм³. Перевищення ГДК за даним компонентом змінюється в широкому діапазоні: від норми до більш ніж п'яти разів. На 30 % території перевищення ГДК становить від двох до трьох разів. У північній і частково в південно-західній частині міста перевищення сягає від трьох до чотирьох разів. На цій же території локалізовані перевищення в чотири-п'ять і більше разів. Південна частина, частково західна та східна характеризується перевищенням до двох разів і фрагментарною локалізацією у межах ГДК (рис. 4).

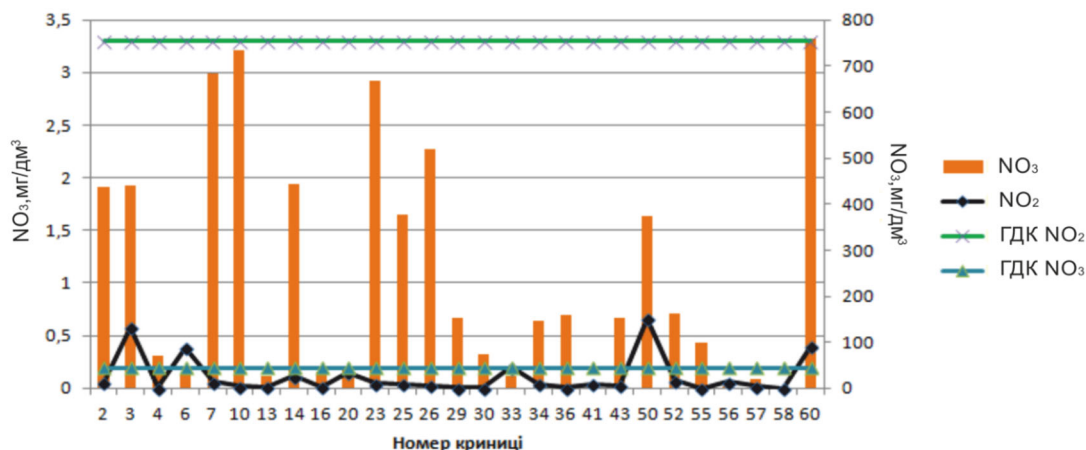


Рис. 3. Вміст нітратів та нітритів у криницях м. Татарбунари

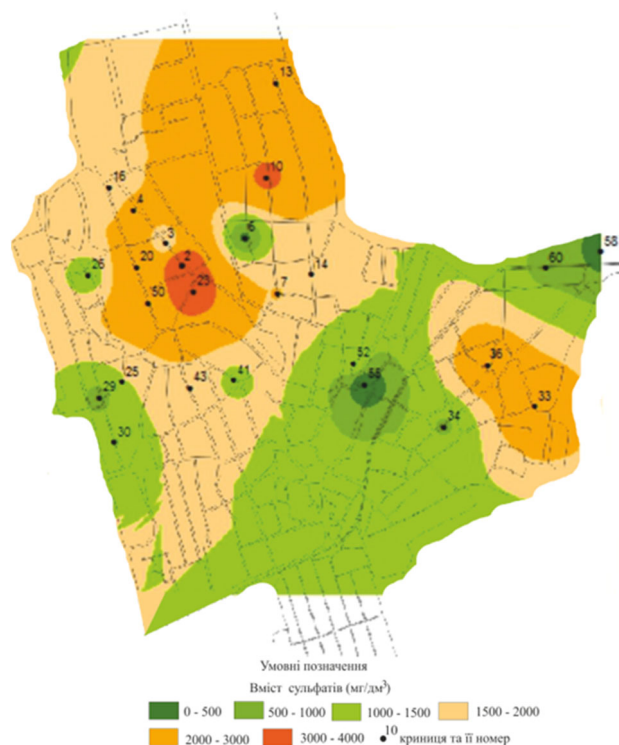


Рис. 4. Картохсхема вмісту сульфатів у пробах води

Показник жорсткості зумовлений наявністю у воді солей кальцію і магнію. Практично вся вода належить до групи дуже жорсткої води з показниками понад 10 мг/екв. Приблизно на третині території (38 %) – південно-східна, східна, частково західна і північно-західна частини міста, ГДК перевищено до двох разів; від трьох до чотирьох разів – переважно в центральній і північно-східній частинах (14 %). На майже половині території перевищення ГДК становить від двох до трьох разів.

Вміст нітритів і фосфатів – у межах ГДК.

Висновки. Аналізуючи вищевикладене, можна стверджувати про непридатність ґрунтових вод у місті Татарбунари для питних цілей за майже всіма показниками якості води. Тому водозабезпечення міста є нагальним питанням сучасності.

Вміст шкідливих речовин у воді як централізованого водопостачання, так і нецентралізованого не повинен перевищувати гранично допустимих норм, вказаних у ДСанПіНах (ДСанПіН 2.2.4-171.10, 2010; СанПиН № 384-96, 1996). Відповідно до визначеного вмісту шкідливих речовин у воді потрібно або усувати їх наявність шляхом встановлення фільтрів на джерела водопостачання, або ж переходити на споживання для питних потреб бутильованої води.

Для поліпшення якості води упродовж двох років автори використовували фільтри для води "Арагон", "Джерело", "Аквафор", які не потребують значного тиску при подачі води. Але основним недоліком їх використання є те, що вони очищують воду переважно від механічних домішок, не змінюючи при цьому хімічний склад. Для даного типу вод необхідно використовувати фільтри зі зворотньоосмотичною системою очистки, наприклад Ecosoft MO450ECOSTO. Але й вона має свої недоліки: воду подавати на пристрій необхідно під тиском, а отримана після доочистки вода потребує підживлення її мінералами і доведення до стандарту.

Відсутність джерел водопостачання, а особливо їхній стан та якість, є основною причиною соціально-економічного

напруження. Для поліпшення ситуації слід приймати нормативні документи щодо утримання криниць і відповідальності користувачів за забруднення підземних вод.

Автори вважають, що подібні дослідження гідрохімічного стану ґрунтових вод у м. Татарбунари обов'язково повинні здійснюватися і в подальшому, на постійній основі, оскільки гідрохімічна динаміка недостатньо досліджена, а технічні заходи з поліпшення якості води (зокрема, вибір типу фільтрів) вимагають такої інформації.

Список використаних джерел

- Гордеев, В.П., Шемелина, В.А., Шулякова, О.К. (1981). Руководство к практическим занятиям по гидрогеологии. Москва.
- ДСанПіН 2.2.4-171.10. (2010). Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ.
- Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2017 році. (2018). Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Київ.
- Медведева, О.О. (2016). Хімічний склад та рівень води першого від поверхні горизонту в межах населених пунктів Татарбунарського району Одещини. *Водне господарство України*, 1, 44-47.
- Медведева, О.О., Диняк, О.В. (2018). Проблема забезпечення якісними питними водами населених пунктів на узбережжі Сасикського водосховища. *Сучасні проблеми наук про Землю: Всеукраїнська молодіжна наукова конференція-школа*, Київ, вип.8, 81-82.
- Медведев, О.Ю. (2001). Проблемы водообеспечения малых городов и пути их решения (на примере г. Татарбунары Одесской области). *Сборник научных работ ЭТЭВК, Ялта*, 53-55.
- Медведев, О.Ю. (2002). Проблема водообеспечения г. Татарбунары. *Сборник научных работ ЭКВАТЭК, Москва*, 349-350.
- Методика проведення комплексу моніторингових робіт у системі Держводгоспу. (2002). Посібник 1 до БВН 33.5.5-01-97. Київ: Ін-тут гідротехніки і меліорації УААН.
- СанПіН №384-96. (1996). Санітарні правила і норми по пристрою і вмісту колодязів і каптажних джерел, використовуваних для децентралізованого господарсько-питного водопостачання. Державні Санітарні правила та норми. Київ: МОЗ України.
- Стрикаленко, Т.В. (2003). Эколого-гигиеническое обоснование оптимизации водоснабжения населения и работников транспорта. *Автореф. дис. ... канд. мед. наук*. Санкт-Петербург.
- Miedviedieva, O., Dyniak, O. (2018). The hydrochemical mode and quality of subsoil waters of settlements are on the coast of Sasuk storage pool. *XVII International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 14-17 May 2018, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801832>
- World Health Organization and UNICEF. (2016). Safely managed drinking water services – thematic report on drinking water. Отримано з <http://www.prographic.com/wp-content/uploads/2016/11/UNICEF-SafelyMngDrinkWater-2016-11-18-web.pdf>

References

- DSanPIN 2.2.4-171.10. (2010). Hiihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoi. Kyiv. [in Ukrainian]
- Gordeev, V.P., Shemelina, V.A., Shulyakova O.K. (1981). Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po gidrogeologii. Moskva. [in Russian]
- Miedvedieva, O., Dyniak, O. (2018). The hydrochemical mode and quality of subsoil waters of settlements are on the coast of Sasuk storage pool. XVII International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects", 14-17 May 2018, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801832>
- Miedvedieva, O.O. (2016). Chemical composition and water level of the first from the surface of the horizon within the settlements of Tatarbunary district of Odessa region. *Water management of Ukraine* 1, 44-47. [in Ukrainian]
- Miedvedieva, O.O., Dinyak, O.V. (2018). The problem of providing quality drinking water to settlements on the coast of the Sasyk Reservoir. *All-Ukrainian youth scientific conference-school: Modern problems of Earth sciences*, Kyiv, 8, 81-82. [in Ukrainian]
- Medvedev, O.Y. (2001). Problemy vodoobespecheniya malyh gorodov i puti ih resheniya (na primere g. Tatarbunary Odesskoj oblasti). *Sbornik nauchnyh rabot ETEVK, YAlta*, 53-55. [in Russian]
- Medvedev, O.Y. (2002). Problema vodoobespecheniya g. Tatarbunary. *Sbornik nauchnyh rabot EKVATEK, Moskva*, 349-350. [in Russian]
- Metodyka provedennia kompleksu monitorynhovykh robot u systemi Derzhvodhospu. (2002). Posibnyk 1 do VBN 33.5.5-01-97. Kyiv: In-tut hidrotekhniki i melioratsii UAAN. [in Ukrainian]
- National report on drinking water quality and drinking water supply in Ukraine in 2017. (2018). Ministry of Regional Development, Construction and Housing of Ukraine. Kyiv [in Ukrainian]
- SanPin №384-96. (1996). Sanitarii pravyla i normy po prystroiu i vmistu kolodiaziv i kaptazhnykh dzherel, vykorystovuvanykh dlia detsentralizovanoho hospodarsko-pytnoho vodopostachannia. Derzhavni Sanitarii pravyla ta normy. San Pin № 384. Kyiv. MOZ Ukrainy. [in Ukrainian]
- Strikalenko, T.V. (2003). Ekologo-gigienicheskoe obosnovanie optimizatsii vodosnabzheniya naseleniya i rabotnikov transporta. *Extended abstract of Candidate's thesis (Medical)*. Sankt-Peterburg. [in Russian]
- World Health Organization and UNICEF. (2016). Safely managed drinking water services – thematic report on drinking water. Retrieved from <http://www.prographic.com/wp-content/uploads/2016/11/UNICEF-SafelyMngDrinkWater-2016-11-18-web.pdf>

Надійшла до редколегії 21.01.21

O. Miedvedieva, PhD Student,
E-mail: mdvdv_olga@ukr.net;
Institute of Water Problems and Reclamation of NAAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
37 Vasylkivska str., Kyiv, 03022, Ukraine;
I. Koshliakova, Engineer,
E-mail: irkos@ukr.net;
O. Dyniak, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: dyniak_o_v@knu.ua;
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

HYDROCHEMICAL CONDITION OF GROUD WATER WITHIN THE CITY OF TATARBUNARY OF ODESSA REGION

The hydrochemical state of soil aquifers within the city of Tatarbunary, Odessa region is considered. Currently, water quality is an urgent problem and is relevant not only for the city but also for the entire Odessa region and the country as a whole. In addition, due attention is not given to the problems of a small town or village, which exacerbates the problem. There are no surface water sources in Tatarbunary. The waters of artesian wells on the Upper Sarmatian aquifer are used for both domestic and drinking needs. The object of research is the groundwater of the first aquifers from the surface. The subject of research is the chemical state of groundwater within the city.

An objective assessment of the state of waters within the city can be provided only on the basis of observations of the hydrochemical composition of groundwater. To do this, it is necessary to conduct systematic monitoring observations: to have a network of observation points and appropriate cartographic material. The study was conducted in five phases, which included field and in-house work, sampling of water for chemical analysis and processing of the results.

The chemical composition of water in 23 wells within the city of Tatarbunary was studied. 16 indicators were identified and waters were assigned to a certain class and type of water according to the relevant indicators, taking into account the classification of Alokina. In addition, the results of the analyzes were compared with the indicators of maximum permissible concentrations (MPC) for water supply from wells. According to the test results, two types of water were noted, namely water of moderate mineralization and highly mineralized water. All of them belong to the class of sulfate waters. Of these were dominated by sodium ion.

It was found that water in many respects exceeds the MPC and is unsuitable for drinking water consumption (nitrite and phosphate content within the MPC).

According to the determined content of harmful substances in water, it is necessary to eliminate their presence by water treatment – installation of filters on water sources or switching to bottled water and it is necessary to adopt regulations on source maintenance and user responsibility for pollution.

Keywords: hydrochemical state, MPC, groundwater, wells.

O. Медведева, асп.,
E-mail: mdvdv_olga@ukr.net;
Институт водных проблем и мелиорации НААН Украины, Киев, Украина
ул. Васильковская, 37, Киев, 03022, Украина
И. Кошлякова, инж.,
E-mail: irkos@ukr.net;
О. Диняк, канд. геол. наук., доц.,
E-mail: dyniak_o_v@knu.ua;
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии",
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД
В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДА ТАТАРБУНАРЫ ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрено гидрохимическое состояние грунтовых водоносных горизонтов в пределах города Татарбунары Одесской области. Сейчас качество воды является насущной проблемой не только для города, но и всей Одесской области и страны в целом. Кроме того, проблемам маленького города или села не уделяется должное внимание, что приводит к еще большему их обострению. В городе Татарбунары поверхностные источники водоснабжения отсутствуют. Как для хозяйственно-бытовых, так и для питьевых нужд используются воды артезианских скважин на верхнеосарматский водоносный горизонт. Объектом исследования являются грунтовые воды первых от поверхности водоносных горизонтов. Предмет исследования – химическое состояние грунтовых вод в черте города.

Объективную оценку состояния вод в черте города возможно предоставлять только основываясь на данных наблюдения за гидрохимическим составом грунтовых вод. Для этого необходимо проводить систематические мониторинговые наблюдения: иметь сеть наблюдательных пунктов и соответствующий картографический материал. Исследование проводилось в пять этапов и включало полевые и камеральные работы, отбор проб воды на химический анализ, обработку полученных результатов.

Исследован химический состав воды по 23 колодцам в пределах города Татарбунары. Было определено 16 показателей, воды были отнесены к определенному классу и типу вод по соответствующим показателям с учетом классификации Алекина. Кроме того, результаты анализов были сопоставлены с показателями предельно допустимых концентраций (ПДК) для водоснабжения из колодцев. По результатам испытания было отмечено два типа вод, а именно: воды умеренной минерализации и воды высоко минерализованные. Все они относятся к классу сульфатных вод. В большинстве из них преобладает ион натрия.

Выявлено, что вода по многим показателям превышает ПДК и является непригодной для питьевого водопотребления (содержание нитритов и фосфатов в пределах ПДК).

Согласно полученным значениям содержания вредных веществ в воде, нужно устранять их наличие либо путем водоподготовки – установка фильтров на источник водоснабжения, или переходом на потребление для питьевых нужд бутилированной воды. Кроме того, необходимо принимать нормативные документы по содержанию колодцев и ответственности пользователей за их загрязнение.

Ключевые слова: гидрохимический состояние, ПДК, грунтовые воды, колодцы.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 553.982

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.11>

M. Lubkov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher,
E-mail: mikhail.lubkov@ukr.net;

Poltava Gravimetric Observatory of Institute of Geophysics of NAS of Ukraine,
27/29 Mysoedova Str., Poltava, 36014, Ukraine;

O. Zaharchuk, PhD Student,

E-mail: aliceschain5@gmail.com;

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic",
24 Pershotravnevyi Ave., Poltava, 36011, Ukraine

MODELING OF DISPLACEMENT PROCESSES IN HETEROGENEOUS ANISOTROPIC GAS RESERVOIRS

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

Nowadays there are important problems of increasing efficiency of development and exploitation of gas deposits. There are problems associated with the growth of gas production in heterogeneous anisotropic reservoirs, increasing gas recovery, achieving economic efficiency and so on. In this situation, there are popular methods of computer modeling of gas productive reservoirs, because they allow getting information of the structure and characteristics of the gas reservoir, the distribution parameters of permeability and other important factors in it. They also allow evaluating and calculating uncertainty arising from the lack of information about the gas reservoir properties outside the well. Currently there are many methods of computer modeling, allowing solving various practical problems. From another hand there are some problems related to the accuracy and adequacy of simulation of heterogeneous anisotropic permeable collector systems in real conditions of gas deposits exploitation.

On the base of combined finite-element-difference method for solving the nonstationary anisotropic piezoconductivity Lebenson problem, with calculating of heterogeneous distribution of permeable characteristics of the gas reservoir, we carried out modeling of filtration processes between production and injection wells.

The results of computer modeling show that intensity of the filtration process between production and injection wells depends essentially on their location both in a shifting-isotropic and anisotropic gas reservoir. Therefore, for the effective using of poorly permeable shifting-isotropic gas-bearing reservoirs, it is necessary to place production and injection wells along the main anisotropy axes of the gas-bearing layers. At the placing production and injection well systems in low-permeable anisotropic reservoirs of a gas field, the most effective exchange between them will take place when the direction of increased permeability of the reservoirs coincides with the direction of the location of the wells. Obviously, the best conditions for gas production processes in any practical case can be achieved due to optimal selection of all anisotropic filtration parameters of the gas reservoir.

One can use obtained results for practical geophysical works with a purpose optimizing of gas production activity in low-permeable heterogeneous anisotropic reservoirs. Presented method for more detailed investigation of low-permeable heterogeneous anisotropic gas-bearing deposits can be used.

Keywords: computer modeling, anisotropic filtration processes, gas reservoirs.

Introduction and statement of the problem.

Nowadays, there are actual problems of increasing and effective supporting of the stable gas production. For that purposes in practice, different modern technologies for intensity of the gas filtration process between producing and injection wells have been used (Кошляк, 2002; Тер-Саркусов, 1999; Яскин и др., 2018). There are different technologies, which can influence the main filtration parameters of the gas reservoir such as permeability, porosity, viscosity and any other additional factors. From the other hand, an important factor in gas production in poorly permeable depleted reservoirs is the calculation of anisotropy in the processes of gas phase displacement.

However, for effective using of the gas technologies in practice it is necessary to realize the complete anisotropic filtration processes between production and injection wells in reservoirs. In this situation, computer methods of the anisotropic heterogeneous gas reservoirs modeling are very effective, because they help to obtain information about anisotropic filtration processes between acting wells in many practical cases.

Furthermore, they allow evaluating and taking into account uncertainties due to poor information about the structure and filtration properties of the reservoir outside the wells. Moreover, we can obtain all this information by comparatively cheap way and use for effective analysis, control and management of the gas production processes.

Analysis of latest investigations. At that moment, there are many methods of the gas reservoirs modeling, which allow resolving of various practical problems in gas production (Азиз и Семтапи, 2004; Каневская, 2003; Chen, et al., 2006; Ertekin, et al., 2001): a) determination of

gas filtration processes under different actions on the reservoir in vicinity of acting wells; b) the general choice of the system of development of depleted gas reservoirs; c) supporting of optimal volumes of gas production in low-permeability depleted gas reservoirs; d) determination of final reserves and stagnant zones in gas reservoirs; e) gradual analysis and reduction of risks of development and provision of strategy and tactics of operation of the system of acting wells in difficult mining conditions.

Pinpointing unresolved issues. Now there remain the number of problems connected with accuracy and adequacy of modeling of specific anisotropic heterogeneous poor permeable gas reservoir systems in realistic conditions.

Considering in this work combined finite element – difference method resolving nonstationary piezoconductivity Lebenson problem (Басчиев и др., 2003; Lubkov, 2019) allows calculation of the different filtration parameters in the anisotropic heterogeneous gas reservoirs and gas penetration conditions on the border of investigating area in any time. Therefore, we can adequately define the distribution of the gas reservoir pressure between producing and injection wells in anisotropic heterogeneous poor permeable gas reservoir systems in realistic exploitation conditions.

Setting objectives. The aim of the article is modeling of pushing processes in the anisotropic low permeable gas reservoirs based on the elaborated combined finite element – differences method.

Research part and findings validated. Mathematical formulation and solving problem. We consider the gas reservoir in which the presence of gas is very small. We suggest that the average reservoir thickness is considerably

smaller than its horizontal sizes of the considered area, so it's sufficient to use a two-dimensional nonstationary anisotropic model of piezoconductivity Lebenson problem (Басннее и др., 2003; Lubkov, 2019). In that case, the general formulation of the nonstationary anisotropic piezoconductivity Lebenson problem, taking into account the conditions of penetration of the gas phase on the borders of considering region, in rectangular axes (X, Y) can be presented as:

$$\frac{\partial P^2}{\partial t} = \frac{1}{c} \left(k_{xx} \frac{\partial^2 P^2}{\partial x^2} + k_{yy} \frac{\partial^2 P^2}{\partial y^2} + 2k_{xy} \frac{\partial P^2}{\partial x} \frac{\partial P^2}{\partial y} \right) + \gamma; \quad (1)$$

$$P(t=0) = P_0; \quad (2)$$

$$k_b \text{grad} P^2 = \alpha(P^2 - P_b^2). \quad (3)$$

Here (1) – nonstationary piezoconductivity Lebenson equation; (2) – initial condition; (3) – condition of the gas penetration in the reservoir borders; $P(x, y, t)$ – pressure, as function of coordinates and time; $c = \eta m / P_0$ – coefficient of Lebenson piezoresistivity; k_{xx} , k_{yy} , k_{xy} – anisotropic gas coefficients permeability; η – gas dynamic viscosity; m – porosity coefficient; γ – gas production parameter; P_0 – initial pressure of the porous layer; α – coefficient of the gas penetration in the border of reservoir; P_b – pressure in the border of investigating area; k_b – gas coefficients permeability in the border of investigating area

For resolving nonstationary piezoconductivity Lebenson problem (1) – (3), we use variation finite element method, which leads to the solving of variation piezoconductivity Lebenson equation (Lubkov, 2019):

$$\delta I(P) = 0. \quad (4)$$

Here $I(P)$ – functional of piezoconductivity Lebenson problem (1) – (3), which after substitution $\tilde{P} = P^2$ can be presented as:

$$I(\tilde{P}) = \frac{1}{2} \iint_S \left\{ k_{xx} \left(\frac{\partial \tilde{P}}{\partial x} \right)^2 + k_{yy} \left(\frac{\partial \tilde{P}}{\partial y} \right)^2 + 2k_{xy} \frac{\partial \tilde{P}}{\partial x} \frac{\partial \tilde{P}}{\partial y} + 2 \int_{P_0}^{\tilde{P}} c \frac{\partial \tilde{P}}{\partial t} d\tilde{P} - 2\gamma \tilde{P} \right\} dx dy - \frac{1}{2} \int_L \alpha (\tilde{P} - 2\tilde{P}_b) \tilde{P} dl; \quad (5)$$

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 (Лубков, 2017; Lubkov, 2019). As global coordinate system, where we unit all finite elements of investigating area S , rectangular system (x , y) is using. 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 (Лубков, 2017; Lubkov, 2019).

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)(-\xi-\eta-1); \\ \varphi_2 &= \frac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta)(\xi-\eta-1); \varphi_3 = \frac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta)(\xi+\eta-1); \\ \varphi_4 &= \frac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta)(-\xi+\eta-1); \\ \varphi_5 &= \frac{1}{2}(1-\xi^2)(1-\eta); \\ \varphi_6 &= \frac{1}{2}(1-\eta^2)(1+\xi); \\ \varphi_7 &= \frac{1}{2}(1-\xi^2)(1+\eta); \varphi_8 = \frac{1}{2}(1-\eta^2)(1-\xi). \end{aligned} \quad (6)$$

In this system coordinates, pressure, initial pressure, pressure in the border of investigating area, coefficient of the gas penetration in the border and derivatives of pressure on coordinates approximated in such way:

$$\begin{aligned} x &= \sum_{i=1}^8 x_i \varphi_i; y = \sum_{i=1}^8 y_i \varphi_i; \tilde{P} = \sum_{i=1}^8 P_i \varphi_i; \\ \tilde{P}_0 &= \sum_{i=1}^8 P_{0i} \varphi_i; \tilde{P}_b = \sum_{i=1}^8 P_{bi} \varphi_i; \alpha = \sum_{i=1}^8 \alpha_i \varphi_i; \\ \frac{\partial \tilde{P}}{\partial x} &= \sum_{i=1}^8 P_i \Psi_i; \frac{\partial \tilde{P}}{\partial y} = \sum_{i=1}^8 P_i \Phi_i; \\ \Psi_i &= \frac{1}{|J|} \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial \eta}{\partial x} \right); \\ \Phi_i &= \frac{1}{|J|} \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial x}{\partial \xi} \right); \end{aligned} \quad (7)$$

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 variation equation (4) and suggesting, that nodal meanings from derivatives of pressure on time $\frac{dP_i}{dt}$ are known values and can't be varied we get system of differential equations for k -nodal of p -finite element in such view:

$$\frac{\partial I_p}{\partial P_n} = \sum_{i=1}^8 \{ H_{ni}^p \frac{dP_i}{dt} + (A_{ni}^p + Q_{ni}^p) P_i - Q_{ni}^p P_0 \} - \gamma_n^p = 0; \quad (8)$$

$$H_{ij}^p = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 c^p \varphi_i \varphi_j |J| d\xi d\eta;$$

$$A_{ij}^p = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 (k_{xx}^p \Psi_i \Psi_j + k_{yy}^p \Phi_i \Phi_j + k_{xy}^p \Psi_i \Phi_j) |J| d\xi d\eta;$$

$$Q_{ij}^p = \int_L \alpha \varphi_i \varphi_j dl; \gamma_i^p = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \gamma^p \varphi_i |J| d\xi d\eta.$$

For resolving the system of linear differential equations of the first order (8) at initial conditions (7) we use method of finite differences. At that, approximation of derivative in time can be realized on the base of implicit differential scheme:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P(t+\Delta t) - P(t)}{\Delta t}. \quad (9)$$

Putting expression (9) into the system (8), we obtain the next system of linear algebraic equations:

$$\sum_{i=1}^8 \left\{ \left(\frac{1}{\Delta t} H_{ni}^p + A_{ni}^p + Q_{ni}^p \right) P_i(t+\Delta t) - \frac{1}{\Delta t} H_{ni}^p P_i(t) - Q_{ni}^p P_0^p \right\} - \gamma_n^p = 0, \quad (n=1-8). \quad (10)$$

After summing equations (10) by all finite elements, we obtain the global system of linear algebraic equations, which allows defining unknown meanings of pressure in the moment of time $t + \Delta t$ via their meanings at previous moment t . We resolve the global system equations on the base of Gauss numerical method without choosing the main element (Лубков, 2017; Lubkov, 2019). After solving, we can define the pressure at all nodes of the finite element net. According to the found nodal values, the pressure can be determined at any point of the gas reservoir area in any time. The use of quadratic approximation and implicit difference scheme leads to increasing of the accuracy and also convergence and stability of the numerical solution of the problem (Азиз и Семару, 2004; Лубков, 2017; Chen et al., 2006).

Modeling of anisotropic gas displacement processes.

Let us consider filtration processes of an anisotropic gas reservoir in the vicinity of a production well with the power of 24840 m³ over day at the initial reservoir pressure of 20 MPa. Taking into account the expansion of the gas, at the surface the well power will be 2,484 · 10⁶ m³ over day. We suggest anisotropic gas reservoir area with the size of 9 × 9 km².

We choose some average characteristic parameters of the gas reservoir (Басннее и др., 2003): $\eta = 0,18 \cdot 10^{-4}$ Pa · s; $m = 0,15$. In that case coefficient of Lebenson piezoresistivity is $c = 0,27 \cdot 10^{-12}$ s. In modeling, we will consider that borders of investigating area are impenetrable,

thus the gas penetration coefficients on the borders of considering area equal zero.

From the figures we can see the pressure distributions between gas production and injection wells at the given well power and various anisotropic parameters of the gas permeability after 30 days of continuous acting.

In fig. 1 – we can see distribution of pressure between producing and injection wells in the shifting-isotropic case of

gas permeability distribution ($k_{xy} \neq 0$). In fig. 2 – distribution of pressure between producing and injection wells at their horizontal installation relatively of the main anisotropy axes. In fig. 3 – distribution of pressure between producing and injection wells at their vertical installation relatively of the main anisotropy axes. In fig. 4 – distribution of pressure between producing and injection wells at their diagonal (shifting) installation relatively of the main anisotropy axes.

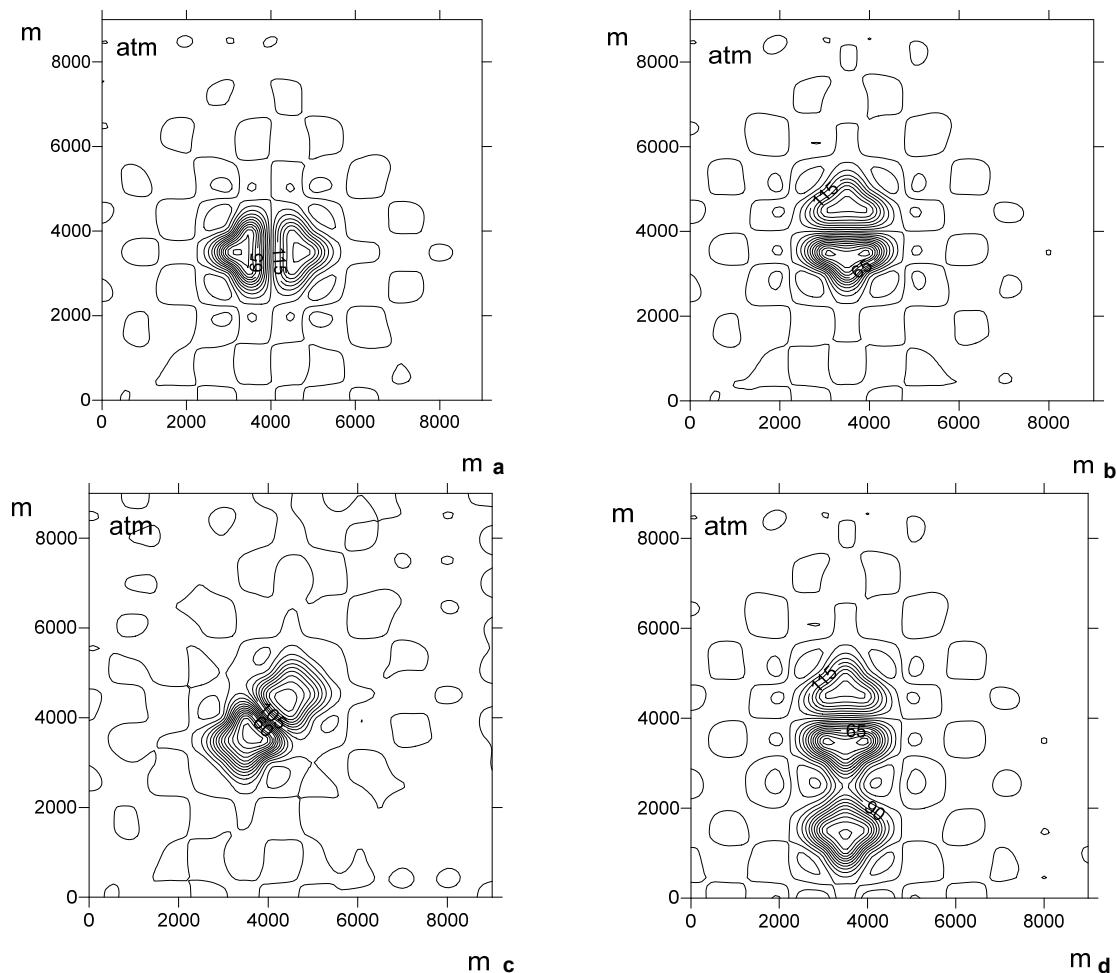


Fig. 1. Distribution of pressure between production and injection wells over month from beginning in shifting-isotropic case of permeability gas distribution:

a – $k_{xx} = 0,0012$ D, $k_{yy} = 0,0012$ D, $k_{xy} = 0,0012$ D; b – $k_{xx} = 0,0012$ D, $k_{yy} = 0,0012$ D, $k_{xy} = 0,0012$ D; c – $k_{xx} = 0,0012$ D, $k_{yy} = 0,0012$ D, $k_{xy} = 0,0012$ D; d – $k_{xx} = 0,0012$ D, $k_{yy} = 0,0012$ D, $k_{xy} = 0,0012$ D. ($1D$ (Darsi) = 10^{-12} m²)

Discussion of the results. The modeling results show a significant effect of the anisotropy of the gas reservoir permeability on the nature of the filtration processes around the production and injection wells, and therefore on the gas production process. In fig. 1 it is possible to detect the degree of intensity of the filtration process between production and injection wells depending on their installation in shifting-isotropic gas reservoir. The most intensive filtration process between production and injection wells occurs when they are placed along the main anisotropy axes (fig. 1, a, b, d). In that case, the gas production process is the most efficient. In the case of diagonal (shifting) installation relatively of the main anisotropy axes, the mutual exchange between production and injection wells decreases and gas production is reduced accordingly (fig. 1, c). In fig. 2 we can see that the most intensive exchange between production and injection wells is observed in case 2, a, when the direction of increased permeability coincides with the direction of well location. Accordingly, the least intense exchange is observed in case 2, b, when the direction of

increased permeability is perpendicular to the direction of the wells. Case 2, c, when the direction of increased permeability is shifted, corresponds to the average exchange rate. In fig. 3 we can see that the most intensive exchange between production and injection wells is observed in case 3, b when the direction of increased permeability coincides with the direction of wells distribution, the least intense in case 3 a when the direction of increased permeability is perpendicular to the direction of wells. That is, the pattern of exchange intensity between production and injection wells is repeated. In fig. 4 – the most intensive exchange between production and injection wells is observed, respectively, in the case of 4, c, also when the direction of increased permeability coincides with the direction of the wells. Moreover, cases 4, a and 4, b have an equally intensive exchange between production and injection wells. Based on the obtained information, for the effective use of weakly permeable shifting-isotropic gas reservoir, it is necessary to install production and injection

wells along the main anisotropy axes. At installing systems of production and injection wells in anisotropic low permeable gas reservoirs, the most effective exchange between them will take place when the direction of increased permeability of the reservoir coincides with the direction of the wells. Obviously, for achievement of the best conditions

of gas production in any practical case we need in systematic analysis and optimal selection of all influential factors of the anisotropic gas filtration processes. From the other hand, we can evaluate these factors by using presented method.

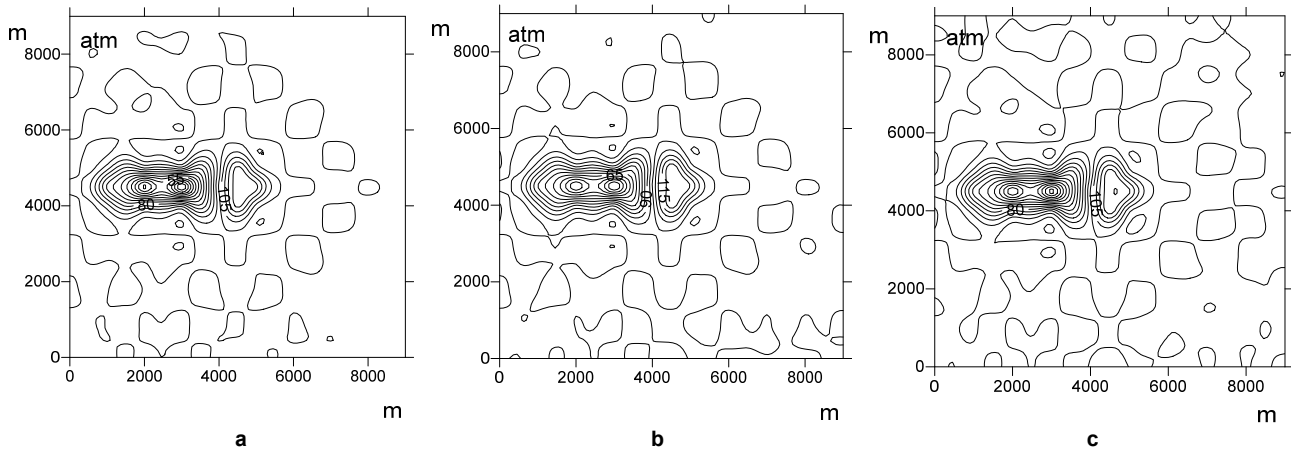


Fig. 2. Distribution of pressure between production and injection wells at their horizontal installation relatively of the main anisotropy axes over month from the action beginning:

a – $k_{xx} = 0,012 D$, $k_{yy} = 0,0012 D$, $k_{xy} = 0,0012 D$; b – $k_{xx} = 0,0012 D$, $k_{yy} = 0,012 D$, $k_{xy} = 0,0012 D$;
c – $k_{xx} = 0,0012 D$, $k_{yy} = 0,0012 D$, $k_{xy} = 0,012 D$

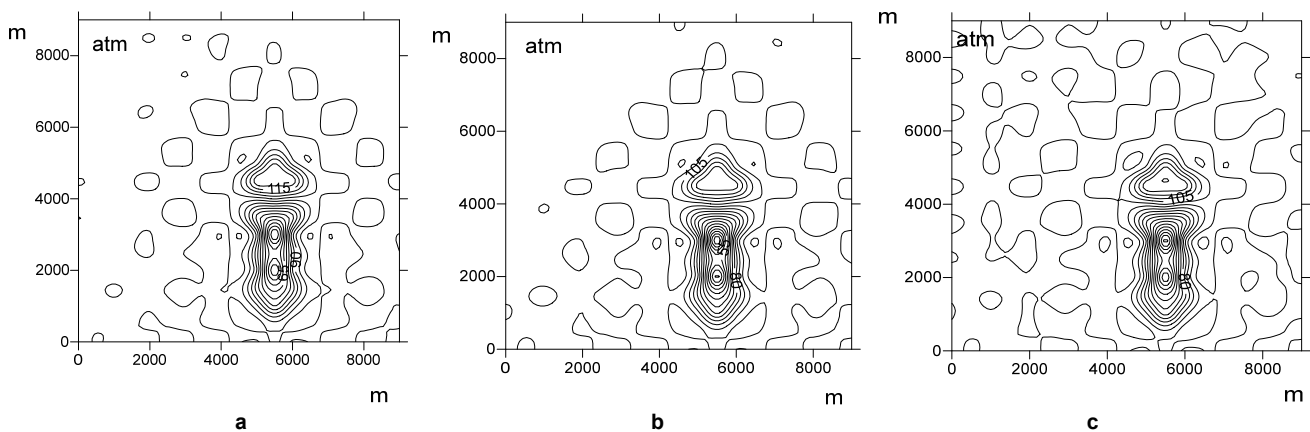


Fig. 3. Distribution of pressure between production and injection wells at their vertical installation relatively of the main anisotropy axes over month from the action beginning:

a – $k_{xx} = 0,012 D$, $k_{yy} = 0,0012 D$, $k_{xy} = 0,0012 D$; b – $k_{xx} = 0,0012 D$, $k_{yy} = 0,012 D$, $k_{xy} = 0,0012 D$;
c – $k_{xx} = 0,0012 D$, $k_{yy} = 0,0012 D$, $k_{xy} = 0,012 D$

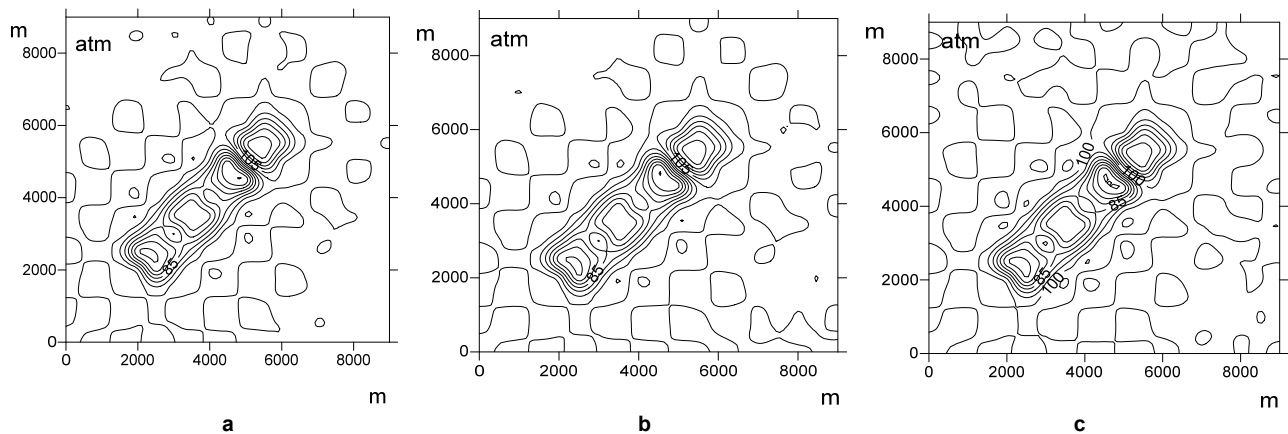


Fig. 4. Distribution of pressure between production and injection wells at their diagonal (shifting) installation relatively of the main anisotropy axes over month from the action beginning:

a – $k_{xx} = 0,012 D$, $k_{yy} = 0,0012 D$, $k_{xy} = 0,0012 D$; b – $k_{xx} = 0,0012 D$, $k_{yy} = 0,012 D$, $k_{xy} = 0,0012 D$;
c – $k_{xx} = 0,0012 D$, $k_{yy} = 0,0012 D$, $k_{xy} = 0,012 D$

Conclusions. The elaborated combined finite element – differences method of resolving anisotropic nonstationary anisotropic Leibenson piezoconductivity problem in deforming gas reservoirs allows adequately in the quantity level describing of low permeable gas filtration process between producing and pushing wells in realistic conditions. The obtained results show that the intensity of the filtration process between production and injection wells and, accordingly, the productivity of gas production depends essentially on their location, both in the shear-isotropic and in the anisotropic gas reservoirs.

The obtained information shows that it is necessary to place production and injection wells along the main anisotropy axes of reservoir for effective exploitation of anisotropic low permeable gas reservoirs.

At installing systems of production and injection wells in anisotropic low permeable gas reservoirs, the most effective exchange between them will take place when the direction of increased permeability of the reservoir coincides with the direction of the wells. Obviously, for achievement of the best conditions of gas production in any practical case we need to realize systematic analysis and optimal selection of all influential factors of the anisotropic gas filtration processes. From the other hand, we can define and evaluate these factors by using the presented method. In the future, it is interesting to create on the basis of the elaborated finite-element-difference method a practically significant method of optimizing gas production in real exploitation conditions of production and injection wells in low-permeability anisotropic gas reservoirs.

Список використаних джерел

- Азиз, Х., Сеттари, Э. (2004). Математическое моделирование пластовых систем. М.: Ин-т компьютер. исслед.
Басниев, К.С., Дмитриев, Н.М., Розенберг, Г.Д. (2003). Нефтегазовая гидромеханика. Учебное пособие для вузов. М.: Ин-т компьютер. исслед.
Каневская, Р.Д. (2003). Математическое моделирование разработки месторождений углеводородов. М.: Ин-т компьютер. исслед.

М. Лубков, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.,

E-mail: mikhail.lubkov@ukr.net;

Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Мясоедова, 27/29, м. Полтава, 36014, Україна;

О. Захарчук, асп.,

E-mail: alicedeschain5@gmail.com;

Національний університет "Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка",
пр. Першотравневий, 24, м. Полтава, 36011, Україна

Кошляк, В.А. (2002). Гранитоидные коллекторы нефти и газа. Уфа: Изд-во "Тай".

Лубков, М.В. (2017). Моделювання продуктивного тиску в неоднорідних нафтоносних пластах. *Геоінформатика*, 63 (3), 23–29.

Тер-Саркисов, Р.М. (1999). Разработка месторождений природных газов. М.: Недра.

Яскин, С.А., Мухаметшин, В.В., Андреев, В.Е., Дубинский, Г.С. (2018). Геолого-технологический скрининг методов воздействия на пласты. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 2, 49–55.

Chen, Z., Huan, G., Ma, Y. (2006). Computational methods for multiphase flows in porous media. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

Ertekin, T., Abou-Kassem, J.H., King, G.R. (2001). Basic applied reservoir simulation. Texas: Richardson.

Lubkov, M. (2019). Estimation of filling processes in the gas cap of geosoliton field. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 85 (2), 82–85.

References

- Aziz, H. and Settary, A. (2004). Mathematic modeling of reservoir systems. Moscow: Inst. of comput. investigations. [in Russian]
Basniev, K.S., Dmitriev, N.M., Rosenberg, G.D. (2003). Gas-gas hydromechanics: textbook for higher education. Moscow: Inst. of comput. investigations. [in Russian]
Chen, Z., Huan, G., Ma, Y. (2006). Computational methods for multiphase flows in porous media. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
Ertekin, T., Abou-Kassem, J.H., King, G.R. (2001) Basic applied reservoir simulation. Texas: Richardson.
Kanevskaya, R.D. (2003) Mathematical modeling of the development of hydrocarbon deposits. Moscow: Inst. of comput. investigations. [in Russian]
Koshlyak, V.A. (2002). Granitoid collectors of oil and gas. Ufa: Tau. [in Russian]
Lubkov, M. (2019) Estimation of filling processes in the gas cap of geosoliton field. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 85 (2), 82–85.
Lubkov, M.V. (2017). Modeling of producing pressure in heterogeneous oil-bearing reservoirs. *Geoinformatics*, 63 (3), 23–29. [in Ukraine]
Ter-Sarkisov, R.M. (1999). Development of natural gas fields. M.: Nedra. [in Russian]
Yaskin, S.A., Mukhametshin, V.V., Andreev, V.E., Dubinsky, G.S. (2018). Geological and technological screening of methods of impact on formations. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2, 49–55. [in Russian]

Надійшла до редколегії 23.11.2020

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИТІСНЕННЯ В НЕОДНОРІДНИХ АНІЗОТРОПНИХ ГАЗОНОСНИХ ПЛАСТАХ

У наш час важливими є проблеми підвищення ефективності розробки та експлуатації газових родовищ. Зокрема, це проблеми, пов'язані зі зростанням видобутку газу в неоднорідних анізотропних пластах, досягненням економічної ефективності тощо. У цій ситуації затребуваними є методи комп'ютерного моделювання газопродуктивних пластів, оскільки вони дозволяють отримувати інформацію про структуру та характеристики газового пласта, параметри розподілу проникності та інші важливі фактори. Вони також дозволяють оцінювати та обчислювати невизначеності, що виникають внаслідок недостатньої інформації про властивості газового пласта поза межами свердловин. Існує багато методів комп'ютерного моделювання, що дозволяють вирішувати різні практичні задачі. З іншого боку, залишаються деякі питання, пов'язані з точністю та адекватністю моделювання неоднорідних анізотропних колекторських систем у реальних умовах експлуатації газових родовищ.

На основі комбінованого скінченно-елементно-різницевого методу для нестационарної анізотропної задачі п'єзопровідності Лейбенсона, з урахуванням неоднорідного розподілу різних фільтраційних параметрів всередині анізотропного газонасного пласта і на його межах, проведено моделювання процесів фільтрації між видобувними та нагнітальними свердловинами.

Результати комп'ютерного моделювання показують, що інтенсивність процесів фільтрації між видобувними та нагнітальними свердловинами і, відповідно, продуктивність видобутку газу суттєво залежить від їх розташування, як у зсувно-ізотропних, так і анізотропних газонасних пластах. Виходячи з отриманої інформації, для ефективного використання слабопроникних зсувно-ізотропних газонасних пластів необхідно розміщувати видобувні та нагнітальні свердловини уздовж головних осей анізотропії пласта. При розміщенні систем видобувних та нагнітальних свердловин у слабопроникних анізотропних пластах газового родовища найбільш ефективний обмін між ними буде проходити, коли напрямки збільшеної проникності пласта збігаються з напрямком розташування свердловин. Очевидно найкращі умови видобутку газу можуть бути досягнуті тільки після системного аналізу та оптимального підбору усіх впливових факторів анізотропії газонасного пласта у кожному практичному випадку.

Отримані результати можна використовувати для практичних геофізичних робіт з метою оптимізації газовидобувної діяльності в слабопроникних неоднорідних анізотропних родовищах. У подальшому викликає інтерес використання представленого методу для більш детального дослідження останніх.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, анізотропні фільтраційні процеси, газонасні пласти.

М. Лубков, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотруд.,
E-mail: mikhail.lubkov@ukr.net;
Полтавская гравиметрическая обсерватория Института геофизики им. С.И. Субботина НАНУ,
ул. Мясоедова, 27/29, г. Полтава, 36014, Украина;
О. Захарчук, асп.,
E-mail: alicedeschain5@gmail.com;
Национальный университет "Полтавская политехника им. Юрия Кондратюка",
пр. Первомайский 24, г. Полтава, 36011, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫТЕСНЕНИЯ В НЕОДНОРОДНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ГАЗОНОСНЫХ ПЛАСТАХ

В настоящее время существуют проблемы повышения эффективности разработки и эксплуатации газовых месторождений. В частности, это проблемы, связанные с ростом добычи газа в неоднородных анизотропных пластах, достижением экономической эффективности и т.д. В этой ситуации востребованными являются методы компьютерного моделирования газовых пластов, поскольку они позволяют получать информацию о структуре и характеристиках газового пласта, параметрах распределения проницаемости и других важных факторах. Они также позволяют оценивать и вычислять неопределенности, возникающие вследствие недостаточной информации о свойствах газоносного пласта вне досягаемости скважин. В настоящее время существует много методов компьютерного моделирования, позволяющих решать различные практические задачи. С другой стороны, остаются некоторые вопросы, связанные с точностью и адекватностью моделирования неоднородных анизотропных коллекторских систем в реальных условиях эксплуатации газовых месторождений.

На основе комбинированного конечно-элементно-разностного метода для нестационарной анизотропной задачи пьезопроводимости Лейбенсона, с учетом неоднородного распределения различных фильтрационных параметров внутри анизотропного газоносного пласта и на его границах, было проведено моделирование процессов фильтрации между добывающими и нагнетательными скважинами.

Результаты компьютерного моделирования показывают, что интенсивность процессов фильтрации между добывающими и нагнетательными скважинами и, соответственно, производительность добычи газа существенно зависит от их расположения, как в сдвигово-изотропных, так и анизотропных газоносных пластах. Исходя из полученной информации, для эффективной эксплуатации слабопроницаемых сдвигово-изотропных газоносных пластов, необходимо размещать добывающие и нагнетательные скважины вдоль главных осей анизотропии пласта. При размещении систем добывающих и нагнетательных скважин в слабопроницаемых анизотропных пластах газового месторождения наиболее эффективный обмен между ними будет происходить, когда направление повышенной проницаемости пласта будет совпадать с направлением размещения скважин. Очевидно, наилучшие условия добычи газа могут быть достигнуты только в результате системного анализа и оптимального учёта всех важных факторов анизотропного газоносного пласта в каждом практическом случае.

Полученные результаты могут быть использованы на практике геофизических работ с целью оптимизации газодобывающей деятельности в слабопроницаемых неоднородных анизотропных пластах. В дальнейшем вызывает интерес использование представленного метода для более детального исследования последних.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, анизотропные фильтрационные процессы, газоносные пласты.

УДК 574:59

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.12>Н. Лазоренко-Гевель¹, канд. техн. наук, доц.,E-mail: nadiialg@gmail.com;І. Галіус², інженер-дослідник,E-mail: 2014gis96@gmail.com;В. Зацерковний³, д-р техн. наук, проф.,E-mail: vitaliii.zatsekovnyi@gmail.com;Б. Денисюк¹, ст. викл.,E-mail: gis-knuba@ukr.net;Н. Шудра¹, ст. викл.,E-mail: shudra_n@ukr.net;¹Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна;²ПрАТ "Науково-виробничий комплекс "Курс",
вул. Бориспільська, 9, м. Київ, 02099, Україна;³Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ІНІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВЕДЕННЯ МОНІТОРИНГУ ЧОРНОБИЛЬСЬКОГО РАДІАЦІЙНО-ЕКОЛОГІЧНОГО БІОСФЕРНОГО ЗАПОВІДНИКА

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Досліджено стан та перспективи застосування геоінформаційних систем (ГІС) для вирішення моніторингових завдань природоохоронних територій України. Представлено результати вперше виконаного в Україні проєкту геоінформаційного забезпечення території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника (ЧРЕБЗ) для ведення моніторингу, основою якого слугує база геопросторових даних території заповідника, створена із застосуванням об'єктно-орієнтованого підходу на основі національних стандартів України ДСТУ 8774:2018 "Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних" та ДСТУ ISO 19110:2017 "Географічна інформація. Методологія для каталогізації об'єктів".

Створений інформаційно-довідковий геопортал території та об'єктів Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника дає можливість надання широкому колу користувачів публічного доступу до актуальної моніторингової інформації ЧРЕБЗ на основі платформи ArcGISOnline. Запропоновано використання розроблених спеціалізованих алгоритмів геоінформаційного аналізу та моделювання для моніторингу стану радіаційного забруднення ЧРЕБЗ.

Особливостями геоінформаційного забезпечення території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника для ведення геоінформаційного моніторингу є підтримка в актуальному стані та уніфікація різних за типом і походженням даних на єдиній цифровій топографічній основі, забезпечення потрібного рівня взаємодії різних підрозділів органів місцевого управління, інших підприємств та установ, що забезпечують життєдіяльність заповідника.

За допомогою ГІС ЧРЕБЗ забезпечено вирішення завдань зі створення та підтримання в актуальному стані геопросторових даних: меж заповідника; сучасного стану використання території, природних ландшафтів; рослинного покриву; місць поширення рідкісних та зникаючих видів флори, фауни, рослинних угруповань; функціонального зонування території; лісо-насаджень заповідника; розміщення історико-культурних та рекреаційних об'єктів, екологічних стежок і туристичних маршрутів; протипожежного впорядкування території, проєктного плану; планування природно-заповідної території; організацію ефективного економіко-соціально та екологічно управління заповідником; розробку заходів для здійснення моніторингу довкілля; прийняття управлінських рішень, видачу даних на тверді носії; проєктування туристичних маршрутів та можливих наслідків катастроф; надання геоінформаційної підтримки під час ліквідації лісових пожеж; розроблення заходів щодо здійснення природоохоронних, протиерозійних, протизсувних та протипожежних робіт, відновлення порушених природних комплексів; комплексної оцінки території заповідника, його господарського використання та запасів природних ресурсів, ландшафтного різноманіття, історико-культурних об'єктів, стану інженерно-транспортної інфраструктури; проведення науково обґрунтованого функціонального зонування території заповідника; розроблення пропозицій щодо будівництва та реконструкції об'єктів, необхідних для забезпечення діяльності заповідника тощо.

Ключові слова: база геопросторових даних, ГІС, геоінформаційне забезпечення, геоінформаційний моніторинг, Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, ГІС ЧРЕБЗ, геоінформаційний аналіз.

Постановка проблеми. Одним з найважливіших завдань природоохоронної діяльності є збереження та збільшення природно-заповідного фонду та охорона генофонду рослинного і тваринного світу, рідкісних видів рослин і тварин, ландшафтів.

Після створення природоохоронної території одразу постає проблема забезпечення управління цією територією. Найефективнішим практичним методом вирішення цієї проблеми є використання геоінформаційних систем (ГІС) та геоінформаційних технологій (ГІТ), які допомагають ефективно управляти природно-заповідними територіями, аналізувати та моделювати різні процеси та явища на цих територіях та їх картографування. Використання геоінформаційного забезпечення якісно підвищує ефективність територіального аналізу під час встановлення меж нових об'єктів, проведення процедури вилучення земель, розроблення попереднього функціонального зонування території тощо.

Практика впровадження геоінформаційного забезпечення для управління природно-заповідними територіями в існуючі геоінформаційні проєкти (Природно-заповідний

фонд України, н.д.; НПП "Подільські Товтри", н.д.; Природні умови НПП "Пирятинський", н.д.; Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, н.д.), які призначені для забезпечення діяльності окремих об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) свідчить, що вони відрізняються підходами та використовуваними методами. Головною особливістю зазначених вище проєктів є те, що вони виконані як геоінформаційні шари даних і представлені цифровими картами, для вирішення конкретної проблеми. Використання картографічного підходу до вирішення подібних завдань, на думку авторів, не є прогресивним і суперечить принципам сучасного геоінформаційного підходу виробництва геопросторових даних. При картографічному підході цифрова карта є "зрізом місцевості" на певний час і не враховує зміни місцевості, не забезпечує можливість інтеграції даних, зібраних з різних джерел для оновлення карт, виготовлення цифрової карти відбувається в середовищі конкретної ГІС, що не забезпечує інтегрованості геопросторових даних, зібраних в інших ГІС, і спричиняє проблеми зі створення, оновлення, обміну

та поширення таких даних між різними виробниками та користувачами. Крім того, авторські цифрові геопросторові дані подібних проєктів залишаються недоступними для широкого кола користувачів, а в деяких випадках навіть для адміністрації природоохоронної території та місцевих органів влади.

Актуальним завданням сьогодення є обґрунтування єдиних вимог до технології геоінформаційного забезпечення заповідних територій під час їх створення, проєктування та експлуатації.

Геоінформаційне забезпечення повинно бути орієнтоване на ефективне виконання всіх функцій природоохоронної території. Як свідчить світовий досвід, наприклад проєкти *Protected areas*, *Protected planet*, більшість таких територій має схожий, регламентований нормативною базою, перелік функцій з пріоритетним переважанням певних із них. Загалом, завдання діяльності природоохоронних територій можна звести до кількох основних функцій: природоохоронної, науково-дослідної, туристично-рекреаційної, освітньо-виховної тощо.

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник (далі – ЧРЕБЗ) був заснований до 30-ї річниці аварії на Чорнобильській АЕС 26 квітня 2016 р. У 2016 р. заповіднику також було надано міжнародний статус та включено до Всесвітньої мережі біосферних резерватів у рамках програми Юнеско "Людина і біосфера".

Площа заповідника, розташованого в межах Іванківського та Поліського районів Київської області, займає зону відчуження Чорнобильської АЕС, за винятком 10-кілометрової охоронної зони території Чорнобильської АЕС, і становить 226964,7 га (*Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, н.д.; Про затвердження Положень..., 2005; Про створення Чорнобильського..., 2016*).

Метою створення заповідника є збереження природного середовища, проведення наукових досліджень тощо.

Метою даного дослідження є обґрунтування особливостей створення геоінформаційного забезпечення Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника для геоінформаційного моніторингу, яке базується на теорії баз даних і використовує принципи функціонально-орієнтованого моделювання для створення бази даних геопросторових даних ГІС ЧРЕБЗ як ядра геоінформаційної підтримки для моніторингу заповідних територій.

Виклад основного матеріалу. Необхідність такої масштабної структури, як ЧРЕБЗ, з'явилася задовго до 26 квітня 2016 року. Вже через 15–20 років після аварії на ЧАЕС стало зрозуміло: природа набагато потужніша навіть за такий страшний антропогенний фактор, як Чорнобильська катастрофа. Територія в кілька сотень тисяч гектарів сама по собі стала заповідною: там знайшли прихисток і комфортні умови для розмноження сотні видів не тільки типових, а й рідкісних червонокнижних тварин.

З 2018 р. ЧРЕБЗ активно включається в міжнародні проєкти, а науковим підрозділом організовуються перші наукові експедиції з вивчення флори і фауни території зони відчуження.

Створений у межах 30-кілометрової зони відчуження найбільший за територією в Україні заповідник є базисом для надзвичайно важливого унікального природного експерименту не тільки в нашій країні, але й у всьому світі.

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник створено за Указом Президента України від 26 квітня 2016 року – №174/2016 "Про створення Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника". Цей документ визначає "створення в Іванківському та Поліському районах Київської області в межах зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення території, радіоактивно забрудненої внаслідок Чорнобильської катастрофи, Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника" (рис. 1).

Існує два шляхи створення геоінформаційного забезпечення для природоохоронних територій:

1) при проєктуванні та створенні природоохоронних територій;

2) для забезпечення ефективної діяльності (функціонування) створеної природоохоронної одиниці.

Геоінформаційне забезпечення функціонування природоохоронних територій розглядається та реалізується у вигляді:

1) інтернет-сайту з картами та іншою довідковою інформацією про природоохоронну територію;

2) геоінформаційного проєкту, як сукупності взаємоприв'язаних геоінформаційних шарів даних, створених для природоохоронної території;

3) спеціалізованої ГІС, як окремого програмного комплексу, призначеного для виконання сукупності чітко визначених завдань згідно з функціями та специфікою діяльності природоохоронної одиниці.

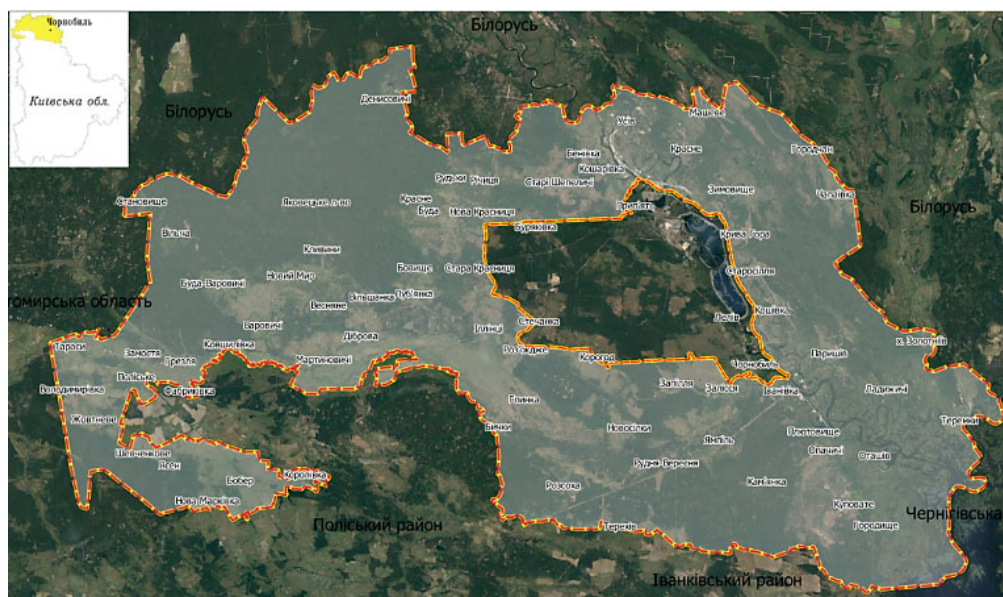


Рис. 1. Територія Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника

Інтернет-сайт з картами та іншою довідковою інформацією про природоохоронну територію найбільше відповідає завданням популярного змісту – забезпеченню інтересів туристів, а також виконанню завдань екологічної освіти та виховання, та забезпеченню виконання наукової та природоохоронної функцій.

Перевагами використання інтерактивного інтернет-сайту як напрямку геоінформаційного забезпечення діяльності природоохоронної території є:

- доступність для широкого кола користувачів;
- популяризація природоохоронних територій, у тому числі для розвитку туризму та екологічної освіти і виховання;
- можливість оприлюднення наукових досліджень території у межах єдиного інформаційного джерела.

Основними недоліками інтернет-сайтів природоохоронних територій є:

- відсутність векторних шарів даних, що закономірно обмежує можливості використання даних для наукових цілей;
- те, що сайти логічно не передбачають автоматичного застосування геоінформаційних програмних засобів та функцій складного геопросторового аналізу даних.

Подолання цих недоліків можливе за рахунок створення і розвитку національної інфраструктури геопросторових даних, яка передбачає використання принципів геоінформаційного підходу для повного циклу виробництва геопросторових даних: від їх створення до обміну і поширення на основі єдиних стандартів і специфікацій у сфері "Географічна інформація / Геоматика", створення геопорталів природоохоронних територій, що є актуальним завданням сьогодення та активно розглядається науковцями (Пересацько, 2012; Карпінський та Лазоренко-Гевель, 2020; Karpinskyi and Lazorenko-Hevel, 2020).

Геоінформаційний проєкт – сукупність взаємоприв'язаних геоінформаційних шарів даних, створених для природоохоронної території. У межах даного підходу геоінформаційне забезпечення розглядається досить вузько спеціалізовано – як набір даних, підготовлених для роботи в ГІС. Геоінформаційний проєкт у даному випадку відповідає поняттю інформаційного забезпечення ГІС, тобто сукупності масивів інформації (баз даних, банків даних, інших структурованих наборів даних), систем кодування, класифікації та відповідної документації, що обслуговує систему обробки даних.

З погляду виконання функцій природоохоронних територій даний вид геоінформаційного забезпечення можна використовувати переважно для наукових задач. Туристично-рекреаційна та екологічна освітньо-виховна функції можуть виконуватися шляхом оформлення тематичних карт відповідного змісту на основі шарів даних геоінформаційного проєкту, розміщення їх у друкованих виданнях та на Інтернет-сайтах.

Головною перевагою геоінформаційних проєктів є можливість самостійного моделювання ситуацій та процесів на основі базових наборів геопросторових даних. Серед недоліків варто відзначити недоступність даних для широкого кола користувачів та можливість популяризації лише через наукові публікації. Відсутність попередньо закладених у систему алгоритмів і моделей аналізу даних, розроблених з урахуванням специфіки природоохоронної території, зменшує можливості систематизованих наукових досліджень. Однак при цьому залишається достатня свобода дій для дослідника, можливість розробки у подальшому спеціальних алгоритмів, що особливо актуально на початкових стадіях формування напрямів діяльності території та їх геоінформаційного забезпечення. Крім того, на етапах проєктування та створення природоохоронних територій

геоінформаційне забезпечення реалізується переважно саме у вигляді геоінформаційного проєкту.

Спеціалізована ГІС, як окремий програмний комплекс, призначена для виконання конкретних завдань згідно з функціями природоохоронної території. У даному випадку під ГІС розуміють загальноприйняте визначення: "апаратно-програмний людино-машинний комплекс, що забезпечує збір, обробку, відображення і поширення просторово-координованих даних, інтеграцію даних, інформації та знань про територію для ефективного їх використання при вирішенні наукових і прикладних завдань, пов'язаних з інвентаризацією, аналізом, моделюванням, прогнозуванням і управлінням доквіллям та територіальною організацією суспільства". Специфічність застосування ГІС для розв'язання задач функціонування природоохоронних територій дещо звужує це поняття за рахунок того, що маєється на увазі не повнофункціональна ГІС із можливістю вирішення широкого кола завдань, а спеціалізований програмний додаток, створений саме для окремої природоохоронної території (Пересацько, 2012).

У геоінформаційній сфері забезпечення природоохоронних територій на міжнародному рівні найбільш відомим проєктом є Світова база даних природоохоронних територій (World Database on Protected Areas – WDPA) (*Protected areas, n.d.*) – це найповніший глобальний просторовий набір даних, що містить морські та наземні природоохоронні території. Дані про місцевість надаються через онлайн-інтерфейс Protected Planet (*Protected planet, n.d.*), який розроблений для WDPA, що є спільною ініціативою Міжнародного союзу охорони природи (МСОП) та Центру екологічного моніторингу охорони навколишнього середовища ООН з метою збору просторово-орієнтованої інформації про природоохоронні території.

МСОП визначив універсальні категорії природоохоронних територій, які передбачають відповідний рівень захисту (*Protected planet, n.d.*).

На основі проаналізованої інформації можна зробити висновок, що перспективи застосування ГІС для забезпечення діяльності природоохоронних територій зводяться до формування єдиної національної системи об'єктів та територій ПЗФ, а також створення локальних ГІС та інтернет-сайтів природоохоронних одиниць, оскільки значна частина об'єктів не інформатизована.

Автори статті рекомендують використовувати принципи геоінформаційного підходу для геоінформаційного забезпечення території ЧРЕБЗ. Серед принципів геоінформаційного підходу є використання геопросторових баз даних, перевагами яких є: мінімізація надмірності даних; уніфікація організації даних, яка досягається використанням геоінформаційних моделей, розроблених на основі міжнародних та національних стандартів України у сфері Географічної інформації/Геоматики; цілісність та захист від несанкціонованого доступу, що визначає відповідність інформації бази даних її внутрішній структурі та заданим правилам, незалежність структур даних від програмного забезпечення, незалежність програмного забезпечення від структур даних (СОУ 71.12-37-949, 2014; ДСТУ ISO 19110, 2017; Карпінський та Лазоренко-Гевель, 2020).

На початку практичної частини дослідження було розроблено детальну технологічну модель геоінформаційного забезпечення природоохоронної території відповідно до методології IDEF0, яка призначена для функціонального моделювання і уявлення етапів проєкту. Розроблена технологічна схема адаптована безпосередньо для відображення узагальненого процесу ГІС забезпечення ЧРЕБЗ.

Першим технологічним завданням у технологічній моделі є збір вхідних даних, який полягає в координатній прив'язці території заповідника, його окремих ділянок та об'єктів. Наступним геоінформаційним завданням є проектування бази геопросторових даних, яке виконується паралельно з координатною прив'язкою території заповідника або після її завершення. Для виконання цього процесу висуваються вимоги до ГІС та бази геопросторових даних (БГД). Завдання виконується геоінформатиком з використанням комп'ютера та відповідного програмного забезпечення. Даний етап передбачає розроблення геоінформаційної концептуальної та логічної моделей БГД, каталогу об'єктів і атрибутів, а також проведення дослідної реалізації запроектованої бази геопросторових даних у відповідній ГІС. Результатом цього етапу є БГД, яка реалізована у вибраній геоінформаційній системі, тобто на виході отримується незавершена ГІС заповідника.

На наступному етапі виконується виготовлення картографічних матеріалів на основі векторних шарів створеної БГД, результатів польових робіт та вимог Положення "Про Проєкти організації території заповідника". На виході етапу отримується картографічні матеріали, які є складовою "Проєкту організації території заповідника".

Наступним кроком є розроблення алгоритмів спеціалізованих функцій геопросторового аналізу та геоінформаційного моделювання відповідно до вимог, висунутих до ГІС та БГД. Керівними документами є методичні матеріали щодо виконання зазначеного вище аналізу та моделювання. Розроблення алгоритмів виконується геоінформатиком з використанням комп'ютера, створеної БГД та ГІС. На даному етапі також виконується проектування геопорталу заповідника.

На основі результатів попередніх етапів виконується затвердження Проєкту організації території заповідника, який і отримується внаслідок завершення даного етапу.

Остання задача геоінформаційного забезпечення території заповідника полягає у введенні ГІС заповідника в експлуатацію за участі розробників ГІС та адміністрації заповідника. Задача виконується із залученням інструкції з користування ГІС заповідника, яка складається розробниками системи. Результатом даного етапу та технологічного процесу в цілому є ГІС та геопортал заповідника.

Проектування БГД полягає у моделюванні реального світу, тобто у створенні геоінформаційних моделей, структура яких найбільш точно відповідає цілям бази даних. Передумовою проектування баз даних або так званим початковим етапом проектування є визначення цільового призначення БГД, яке визначає структуру даних.

Проектування БГД включає в себе три рівні моделювання: концептуальне, логічне та фізичне.

На етапі *концептуального моделювання* визначається предметна сфера та опис досліджуваних об'єктів або явищ, типи цих об'єктів в БГД, встановлюються обмеження та взаємозв'язки. Іншими словами, під час даного етапу не враховуються деталі фактичної реалізації БГД. Етап концептуального моделювання один з найважливіших, оскільки від якості його виконання залежить подальше проектування бази даних, проведення реалізації та експлуатації системи, а також виконання базою даних завдань, для яких її створюють. *Логічний етап моделювання* передбачає відображення концептуальної моделі даних у вигляді мовних конструкцій та схематичних позначень вибраної СКБД. Третій етап – *фізичне моделювання*, передбачає фактичну комп'ютерну реалізацію бази геопросторових даних.

Базу геопросторових даних для ГІС ЧРЕБЗ для проведення моніторингу було створено з використанням *функціонально-орієнтованого підходу*, який визначає

основні сутності (класи) системи, що розробляється, та встановлює асоціації та операції з цими класами. Ця БГД забезпечує ефективний доступ до інформації, систематизацію різних типів та джерел даних, геопросторовий аналіз, геоінформаційне моделювання та необхідний рівень взаємодії між різними користувачами.

Були розроблені концептуальна та логічна геоінформаційні моделі БГД із використанням уніфікованої мови моделювання UML, а також каталог об'єктів і атрибутів ГІС ЧРЕБЗ на основі національних стандартів України ДСТУ ISO 19101:2009 Еталонна модель, ДСТУ 8774:2018 "Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних" і ДСТУ ISO 19110:2017 "Географічна інформація. Методологія каталогізації об'єктів" та СОУ 71.12-37-949 "База топографічних даних. Каталог об'єктів і атрибутів", що забезпечує ефективний доступ до інформації, використання методів геоінформаційного аналізу, інтеграцію геопросторових даних.

Концептуальне моделювання полягає у створенні моделі інформації, яка буде використовуватися в майбутній базі даних. У концептуальній моделі відсутня залежність інформації від способів та методів її представлення. Даний етап передбачає абстрагування та опис предметної сфери.

Концептуальна модель відображає сукупність вимог замовника або користувача до даних, які отримані з уявлень про реальний світ. За допомогою даної моделі описуються всі елементи даних, види зв'язків між ними, а також зазначаються обмеження, які потрібні для забезпечення цілісності даних.

Концептуальна модель складається з трьох основних елементів: предметів (сутностей); атрибутів (якісних представлень властивостей предметів); ліній, які позначають зв'язки (відношення) між сутностями. У даному випадку предметом є об'єкт інформатизації, атрибутами – його властивості або характеристики.

Запроектована концептуальна модель ГІС ЧРЕБЗ складається із сутностей, їх атрибутів та взаємозв'язків між ними. Загалом модель налічує 33 класи об'єктів та 35 зв'язків між ними. Назви класів об'єктів та їх атрибутів відображені українською мовою для узагальнення змісту інформації, яка буде зазначатися в даних класах.

На запроектованій концептуальній моделі узагальнені об'єкти:

- "Дороги", "Залізниці" та "Мостові споруди" у клас "Залізниці, об'єкти вулично-дорожньої мережі та мостові споруди";
- "Гідрографічні об'єкти (полігональні та лінійні)", "Джерела", "Протипожежні водойми" у клас "Об'єкти гідрографії та гідрографічної мережі";
- "Флора", "Рослинні угруповання", "Рослинний покрив" у клас "Рослинність".

Всі класи об'єктів входять до складу кварталів через зв'язок "композиція". Композиція полягає у неможливості існування об'єктів заповідника поза межами кварталів.

"Кwartали" взаємодіють з територією заповідника за допомогою "агрегації", а "Територія заповідника" через даний зв'язок взаємодіє з Київською областю. Вибір зв'язку "агрегація" пояснюється тим, що квартали є частиною території заповідника, але вони можуть існувати окремо (наприклад, якщо буде прийнято рішення про ліквідацію заповідника, то квартали можуть існувати окремо або перейти до складу лісництва). Те саме стосується і агрегації між територією заповідника та Київською областю.

Передумовою проектування логічної моделі бази геопросторових даних є розроблення каталогу об'єктів та атрибутів.

У каталозі об'єктів місцевості описуються абстрактні моделі реального світу у вигляді визначеної системи класифікації об'єктів та явищ. Завдяки каталогу об'єктів забезпечується однозначна інтерпретація абстрактних моделей комп'ютерними системами та їх користувачами, створюються необхідні умови для використання геопросторових даних та їх широкого розповсюдження.

Класифікація різноманітних явищ та об'єктів реального світу у каталозі об'єктів і атрибутів проводиться за допомогою узагальненого набору визначень, що в ньому містяться. За допомогою каталогу забезпечується спосіб організації даних, який придатний до використання у топографічному картографуванні та ГІС різного призначення, де завдяки топографічним даним утворюється основа, яка сприяє створенню профільних наборів даних, а також просторовій прив'язці нових об'єктів з різних предметних сфер (ДСТУ ISO 19110, 2017).

Основний рівень класифікації у каталозі – клас об'єктів місцевості (featuretype). Даний клас базується на модельному поданні об'єкта (явища), який можна охарактеризувати завдяки певному місцеположенню, для якого виконується збирання, зберігання, а також розповсюдження даних.

В каталозі об'єктів БГД об'єкт реального світу класифікується до певної групи та типу даних, містить UML-схему, власні атрибути з описом їх значення та асоціації між об'єктами.

Розроблена база геопросторових даних ЧРЕБЗ містить 33 класи об'єктів, з яких 12 класів об'єктів запозичено з стандарту СОУ 71.12-37-949:2014 "База топографічних даних. Каталог об'єктів і атрибутів". Об'єкти та атрибути, які відсутні у згаданому стандарті, були запроєктовані авторами самостійно, оскільки вони необхідні для геоінформаційного забезпечення території ЧРЕБЗ.

Розроблено каталог об'єктів та атрибутів БГД ЧРЕБЗ згідно з вимогами національного стандарту ДСТУ ISO 19110:2017 та СОУ 71.12-37-949:2014, який налічує 21 клас об'єктів.

Логічне моделювання – це етап проектування БГД, під час якого розробляються моделі даних, що будуть використані в базі даних, з урахуванням обраної моделі організації даних.

Логічною моделлю бази геопросторових даних називається модель, яка враховує особливості СКБД при описі структури даних та, відповідно, є результатом етапу логічного моделювання. Логічну модель також називають СКБД-залежною. Це означає, що реляційна логічна модель даних, наприклад, відповідає принципам і методам реляційних баз даних і, таким чином, може бути застосована до будь-якої бази даних, яка реалізується в середовищі реляційної СКБД.

Для проектування геоінформаційних моделей БГД застосований об'єктно-орієнтований підхід із застосуванням уніфікованої мови моделювання UML.

У логічній моделі об'єкти реального світу було класифіковано відповідно до національного стандарту ДСТУ ISO 19110:2017 "Географічна інформація – Методологія для каталогізації об'єктів" та згідно із запроєктованим каталогом об'єктів та атрибутів. У розробленій логічній моделі, так само як і в концептуальній, відображено 33 класи об'єктів та 35 зв'язків. Однак, на відміну від концептуальної моделі, на логічній моделі назви об'єктів відображені такими, якими вони будуть створені у БГД, а також зазначені типи даних атрибутивних значень відповідно до запроєктованого каталогу об'єктів та атрибутів. Ще однією особливістю логічної моделі є зазначення перед назвою класу об'єкта його типу, тобто типу даних, які будуть заноситися до даного класу. При реалізації

моделі клас об'єкта *featureType* у СКБД буде створюватися як просторовий шар з відповідною геометрією.

Дослідну реалізацію запроєктованої БГД Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника було проведено в програмному забезпеченні ArcGIS 10.2, оскільки цей програмний продукт є комплексною системою, яка дозволяє вирішувати надскладні завдання, пов'язані з аналізом і моделюванням. Зазначена версія забезпечує легкість використання програмного продукту, потужніші інструменти аналізу, а також додаткові Web ГІС застосування.

Базу геопросторових даних реалізовано у вигляді файлової бази геоданих, створеної за допомогою ArcCatalog. У результаті створення запроєктованої БГД ЧРЕБЗ отримали 33 просторових об'єкти, серед яких виділено три групи: "Залізниці", об'єкти вулично-дорожньої мережі та дорожні споруди", "Об'єкти гідрографії та гідрографічної мережі", "Рослинність".

З метою забезпечення широкого та відкритого доступу громадян, суб'єктів господарської діяльності, органів місцевого самоврядування та державної влади до розподілених геоінформаційних ресурсів як дослідження було розроблено геопортал. До функціоналу геопорталів також слід віднести поширення та забезпечення обміну геопросторових даних за допомогою загальнодоступної глобальної інформаційної мережі, що виконується з метою підвищити ефективність виробництва, а також використання геопросторових даних (Карпінська, 2012).

Проект геопорталу території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника було виконано за допомогою вебресурсу ArcGISOnline.

Існує три підходи формування геопорталу на вебресурсі ArcGISOnline на основі проекту ArcMap:

- за допомогою ArcGIS Server;
- завантаження окремих шейп-файлів;
- конвертування проекту у kml-файл та його завантаження на ArcGISOnline.

Спосіб за допомогою ArcGIS Server більш притаманний для організацій, оскільки він передбачає наявність локального сервера ArcGIS або виділеного сервера на сайті ArcGIS чи компаній партнерів.

Завантаження шейп-файлів, як правило, використовується за невеликого обсягу даних майбутньої вебкарти, оскільки за даного способу необхідно налаштовувати відображення кожного шару окремо.

Конвертування проекту у kml-файл є найбільш зручним способом створення геопорталу на ArcGISOnline при некомерційному використанні та значній кількості даних для відображення. Даний спосіб, так само, як і за допомогою ArcGIS Server, характеризується автоматичним перенесенням символів з проекту ArcMap, що є досить зручною функцією, оскільки вона значно зменшує час формування вебкарти.

Перед проектуванням геопорталу було створено дублікат проекту ГІС ЧРЕБЗ та видалено з нього зайві дані. Таким чином, до нового проекту ArcMap увійшли шари: "Межі", "Дороги", "Залізниці", "Гідрографічні об'єкти", "Населені пункти", "Контора", "Історико-культурні об'єкти", "Туристичні об'єкти". Також до проекту були додані:

- функціональне зонування території на основі інформації з шару "Квартали";
- туристичні маршрути.

Створення геопорталу ЧРЕБЗ у рамках дослідної реалізації було виконано шляхом конвертації проекту ArcMap (*.mxd файл) у файл *.kml та його завантаження на сторінку вебресурсу ArcGISOnline (*What is ArcGISOnline, n.d.*). На основі завантаженого файлу було створено вебкарту території ЧРЕБЗ (рис. 2).

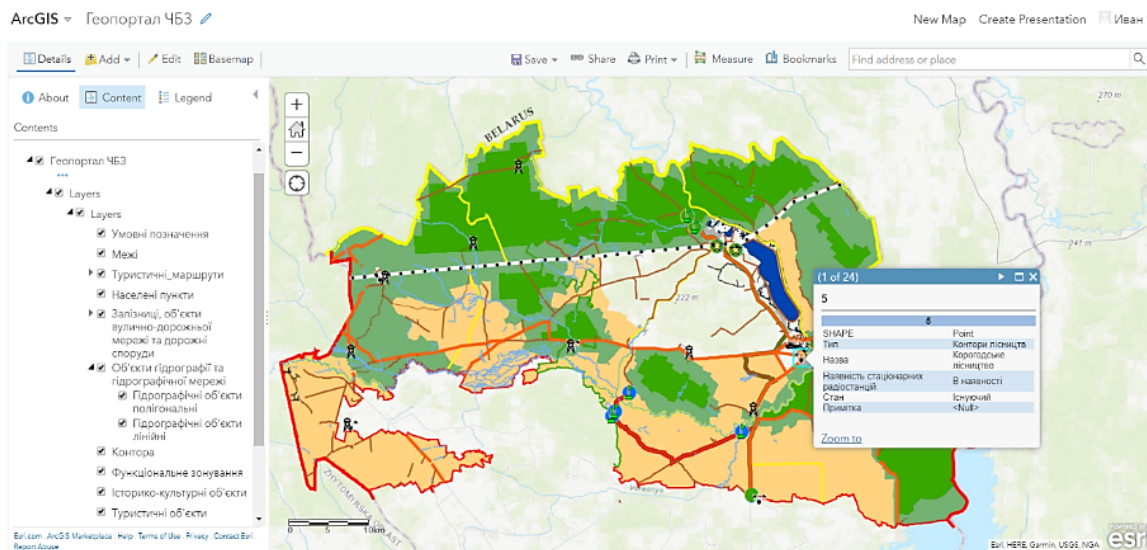


Рис. 2. Дослідна реалізація БГД

Після створення вебкарти ЧРЕБЗ було сформовано картографічний вебдодаток, який є геопорталом ЧРЕБЗ. Для створення геопорталу було використано один із запропонованих шаблонів вебдодатку на вебресурсі ArcGISOnline та внесено до нього зміни відповідно до потреб. Створений геоportal ЧРЕБЗ забезпечує:

- візуалізацію території заповідника;
- можливість вибору шарів для відображення;
- отримання інформації про об'єкт під час натискання на нього;
- зміну прозорості шарів;
- заміну базової карти;
- вимірювання площі, відстані та координат;
- можливість поширення посилання на геоportal.

Оновлення геопорталу ЧРЕБЗ здійснюється шляхом завантаження оновленого kml-файлу на вебресурс ArcGISOnline за допомогою функції Update.

Як відомо, геоінформаційний аналіз – це спосіб аналізу геопросторової інформації за допомогою методів статистичного аналізу та геоінформаційних технологій, в результаті якого виявляються невідомі раніше закономірності та отримується нова інформація. За допомогою геоінформаційного аналізу можливе дослідження різноманітних діяльностей у просторі, закономірностей розподілу об'єктів у просторі, прогнозування природних або соціально-економічних явищ, визначення кореляції тощо.

Під час дослідної реалізації були розроблені алгоритми спеціалізованих функцій для вирішення таких завдань геопросторового аналізу та моделювання:

- дослідження стану радіаційного забруднення;
- проектування оптимальних маршрутів від лісових пожежних станцій до місця пожежі;
- вибір місця для будівництва лісової пожежної станції;
- проектування можливих наслідків повені на р. Прип'ять;
- проектування туристичних маршрутів;
- отримання статистичної інформації про територію заповідника.

Більшість завдань вирішені шляхом створення моделей ModelBuilder, оскільки це сприяє автоматизації процесу та, як наслідок, значно підвищує продуктивність праці. Моделі геооброблення автоматизують і документують процеси просторового аналізу та управління даними. Модель ModelBuilder відображається у вигляді діаграми, що з'єднує послідовності процесів і інструменти

геооброблення, використовуючи вихідні дані одного процесу як вхідні іншого.

На першому етапі було проведено дослідження стану радіаційного забруднення території заповідника. Оскільки на території Чорнобильської зони відчуження станом на 2018 р. працює автоматизована система моніторингу рівня радіації з використанням СКБД, розподіленої мережі постів спостережень та забезпечення цілодобового доступу до вимірних показників на відповідному інтернет-ресурсі, то при геоінформаційному забезпеченні території заповідника передбачено підключення СКБД системи моніторингу до ГІС ЧРЕБЗ.

Для вибору оптимального способу візуалізації радіаційного стану було виконано порівняння різноманітних методів інтерполяції, які виконуються розширенням Geostatistical Analyst ПЗ ArcGIS. Методи побудови поверхонь поділяються на три групи: детерміністичні; геостатистичні; бар'єрні.

Geostatistical Analyst ArcGIS забезпечує можливість моделювання поверхні за допомогою детермінованих та геостатистичних методів. Його інструменти, повністю інтегровані із середовищами моделювання ГІС, дозволяють генерувати інтерполяційні моделі та оцінювати їхню якість, перш ніж використовувати їх у будь-якому подальшому аналізі. Побудовані поверхні можуть використовуватися в моделях (як у середовищах ModelBuilder, так і в Python), візуалізуватися та аналізуватися з використанням інших розширень ArcGIS (*What is the ArcGIS Geostatistical..., n.d.*).

Під час проведення дослідження було використано 10 методів побудови. Для порівняння похибок побудованих моделей було застосовано інструмент "Перехресна перевірка" (рис. 3) розширення Geostatistical Analyst. Даний інструмент відображає похибки моделі, а також дозволяє одночасне порівняння двох моделей, на основі чого стає можливим визначення оптимальної моделі, яка більш реально відображає стан радіаційного забруднення. Оптимальним для інтерполяції значень просторового розподілу даних вважається метод, за якого середня похибка наближається до нуля, середня квадратична похибка і середнє із стандартних похибок інтерполяції мають найменші із обчислених значень, а середня квадратична нормована похибка найближча до одиниці.

Показники похибок методів візуалізації стану радіаційного забруднення ЧРЕБЗ наведено в табл. 1-2.

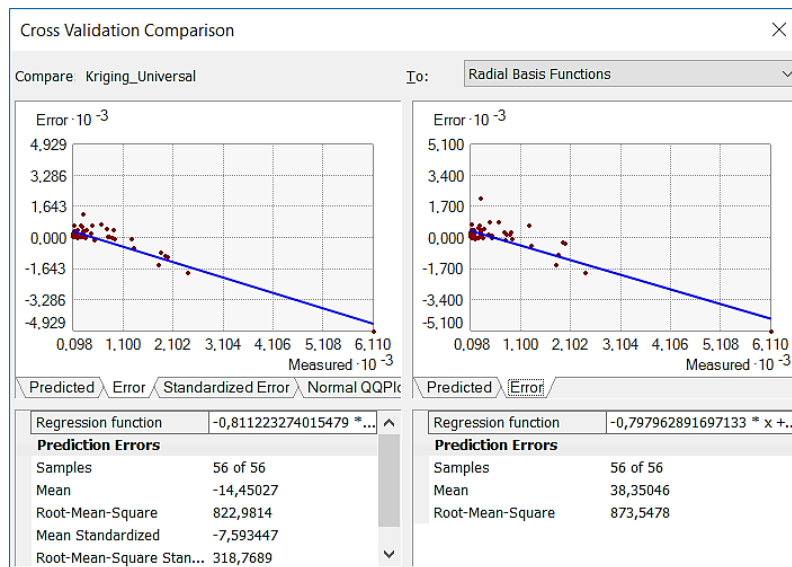


Рис. 3. Перехресна перевірка методу Kriging_Universal та Radial Basis Functions

Таблиця 1

Порівняння похибок методів побудови стану радіаційного забруднення ЧРЕБЗ

Метод / значення похибок	IDW	Global Polynomial Interpolation	Radial Basis Functions	Local Polynomial Interpolation
Mean	117,3229	4,2978	38,3505	-51,3993
Root-Mean-Square	898,6637	904,3401	873,5478	846,0011

Таблиця 2

Порівняння похибок методів побудови стану радіаційного забруднення ЧРЕБЗ

Метод / значення похибок	Kriging (Ordinary)	Kriging (Simple)	Kriging (Universal)	Empirical Bayesian Kriging	Kernel Smoothing	Diffusion Kernel
Mean	12,5033	654,4189	-14,4503	72,5761	-81,3436	77,2938
Root-Mean-Square	879,0809	4806,9287	822,9814	860,1551	871,2006	902,9041
Mean Standardized	0,0113	-9,4782	-7,5934	0,0742	-0,0764	
Root-Mean-Square Standardized	0,9118	29,3024	318,7689	0,9611	0,8402	
Average Standart Error	969,5144	2870,7003	2,7127	925,1208	1128,0644	

На основі порівняння одержаних похибок оптимальним методом було обрано метод універсального кригінгу (Kriging (Universal)), оскільки виконується умова: середня похибка (Mean) найближча до нуля, середня квадратична похибка (Root-Mean-Square) і середнє із стандартних похибок (Mean Standardized) інтерполяції мають найменші з обчислених значень, а середня квадратична нормована похибка (Average Standart Error) найближча до одиниці. Використовуючи поверхню, яка побудована даним методом, було створено картосхему радіаційного забруднення ЧРЕБЗ (рис. 4). Побудована поверхня використовувалася в подальшому для виконання інших операцій геоінформаційного аналізу та моделювання.

Наступним завданням геоінформаційного аналізу та моделювання було обрано проектування оптимальних маршрутів від лісових пожежних станцій до місця пожежі у рамках надання геоінформаційної підтримки під час ліквідації лісових пожеж.

Перший спосіб проектування маршрутів передбачає використання розширення Spatial Analyst ArcGIS. Розширення ArcGIS Spatial Analyst надає широкий спектр потужних можливостей просторового моделювання та аналізу. Даним способом можна побудувати маршрути з урахуванням радіаційного забруднення, рельєфу місцевості, наявності існуючих доріг та інших факторів. Для побудови рельєфу місцевості було використано дані SRTM. Перед формуванням моделі необхідно створити шар "Pogegi", який буде включати місце пожежі.

Реалізацію першого способу виконують шляхом створення моделі ModelBuilder, що забезпечить автоматизацію виконання даного завдання під час подальшої експлуатації ГІС ЧРЕБЗ.

Перший етапом у моделі є отримання нових наборів даних:

- ухил місцевості (Slope) за даними SRTM (рис. 5);
- перетворення векторного шару доріг у растровий шар (Polyline to Raster).

Потім виконуємо перекласифікацію растрів (Reclassify), задаючи більш придатним ділянкам менші значення, менш придатним – більші значення. Після перекласифікації растрів виконуємо їх об'єднання в єдиний набір даних за допомогою калькулятора растрів (Raster Calculator), а потім додаємо до отриманого набору перекласифікований шар доріг за допомогою функції побудови мозаїки Mosaic. Шар доріг додається до комбінованих даних за допомогою мозаїки, оскільки при його додаванні за допомогою калькулятора растрів отримані дані включають в себе тільки існуючі дороги з урахуванням рельєфу та радіаційного забруднення, що є неприпустимим, оскільки необхідно отримати шар значень для всієї території заповідника.

Наступним етапом є отримання так званого шару "вартості" пересування по території заповідника та шару напрямків за допомогою функції Cost Distance.

Результатом виконання моделі є растровий шар оптимальних маршрутів, а також векторний шар, перетворений за допомогою функції Raster to Polyline.

Другий спосіб побудови оптимальних маршрутів від лісових пожежних станцій базується на використанні розширення Network Analyst. Спосіб передбачає створення геометричної мережі доріг, що й було автоматично виконано після створення набору даних Network Dataset.

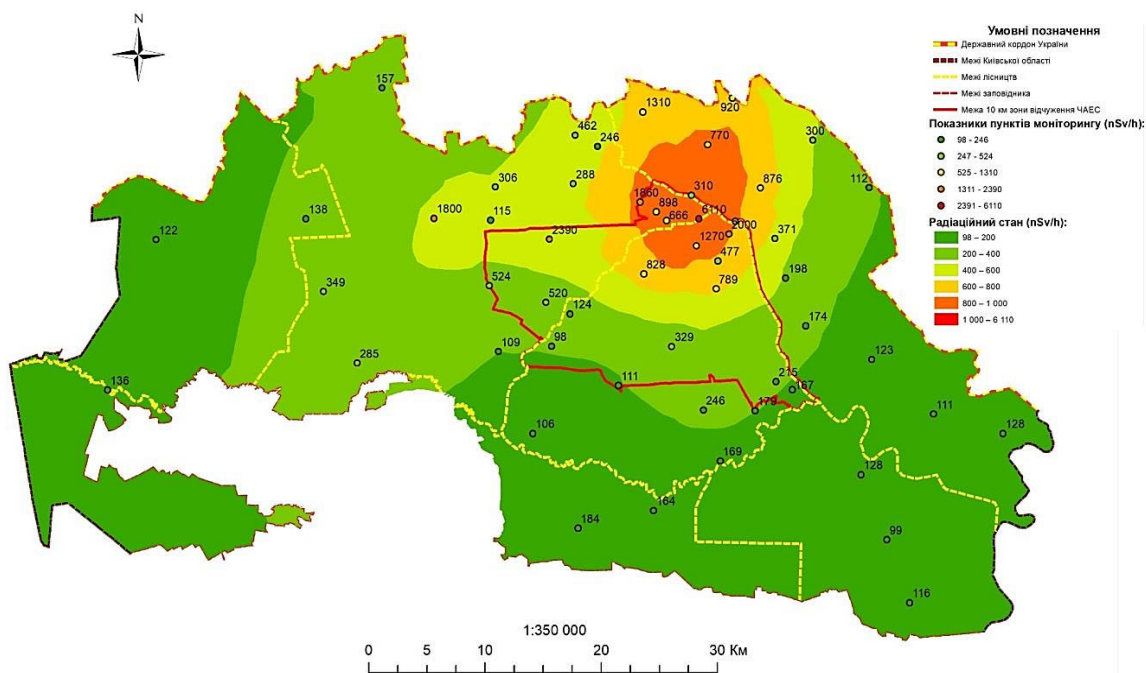


Рис. 4. Радіаційне забруднення ЧРЕБЗ

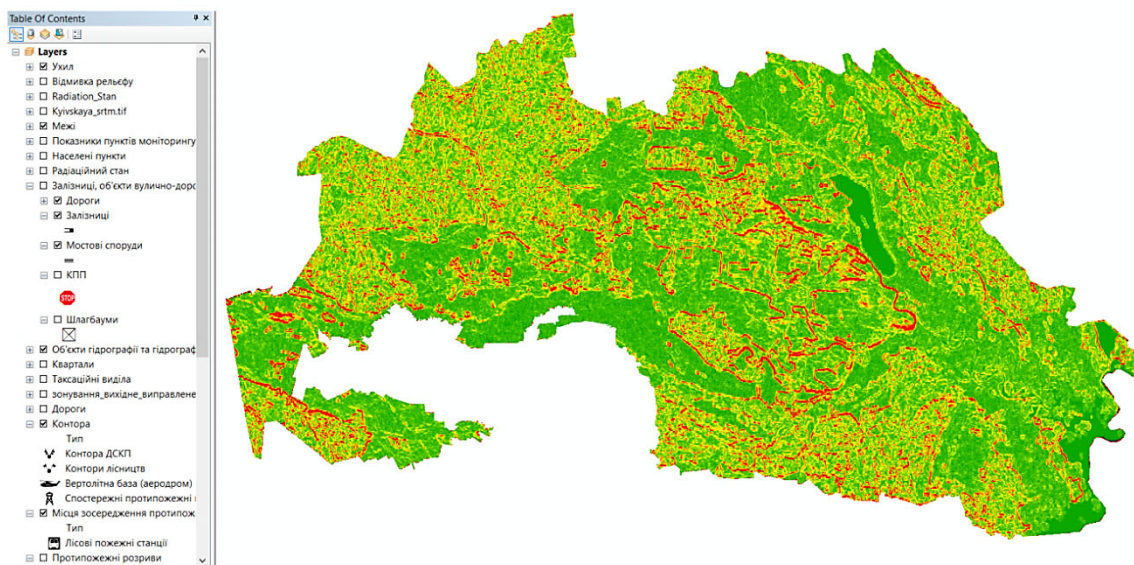


Рис. 5. Побудований ухил місцевості

ArcGIS Network Analyst забезпечує мережеві інструменти просторового аналізу для вирішення складних проблем маршрутизації. Додаток використовує налаштовану модель даних транспортної мережі, що дозволяє організаціям точно представляти їх унікальні вимоги до мережі.

Набори мережевих даних Network Dataset – набір простих просторових об'єктів (лінії та точки) та поворотів, що забезпечують зберігання даних про зв'язність вихідних об'єктів. У транспортних мережах можна пересуватися по ребрах в обох напрямках.

У наборі мережевих даних відстежуються геометричні збіги між вихідними об'єктами. У ньому також діють правила зв'язності, які можна змінювати для того, щоб визначити, які з об'єктів, що збігаються, дійсно з'єднані між собою. Це дозволяє моделювати естади та тунелі, в яких дороги не з'єднуються. Отже, при виконанні мережевого аналізу механізми розрахунку отримують дані про допустимі способи переміщення мережею.

Зв'язність у наборі мережевих даних визначається відповідною геометрією кінцевих точок ліній, вершин ліній та точкових об'єктів, а також застосуванням правил зв'язності, заданих як властивості набору мережевих даних (*What is a network dataset, n.d.*).

Для проектування оптимальних маршрутів запроєктовано нову дорогу, шляхом використання панелі інструментів Network Analyst, а потім задано початкову та кінцеву точку маршруту (лісова пожежна станція та місце пожежі) у пункті Stops запроєктованої дороги. Після чого запускаємо розрахунок та отримуємо оптимальний маршрут із зазначенням його протяжності та часу руху по ньому.

Як висновок проектування маршрутів від лісових пожежних станцій до місця пожежі двома різними способами слід зазначити, що перший спосіб (з використанням Spatial Analyst) є зручним за необхідності врахування різноманітних факторів (рельєф, радіаційне забруднення, існуючі дороги), а також якщо потрібно прокласти маршрут на ділянках, де відсутні дороги

(поля, лісові квартали). У свою чергу, спосіб з використанням Network Analyst слід застосовувати у разі необхідності проектування маршрутів виключно в межах існуючих доріг.

Наступним завданням геоінформаційного аналізу та моделювання стало вирішення проблеми вибору місця для будівництва лісової пожежної станції. Дане завдання вирішувалось створенням відповідної моделі ModelBuilder з використанням функцій Spatial Analyst. Використовуючи Spatial Analyst, існує можливість побудувати карту придатності на основі комбінації різних наборів даних для визначення ділянок, які відповідають необхідним умовам.

У створеній моделі на першому етапі отримуємо ухил місцевості (Slope), за даними SRTM, виконуємо перетворення векторних шарів населених пунктів та полігональних гідрографічних об'єктів у відповідні растрові шари (Polygon to Raster), отримуємо шар відстаней від існуючих лісових пожежних станцій за допомогою функції Euclidean Distance. На наступному етапі виконуємо перекласифікацію растрів (Reclassify), задаючи більш придатним ділянкам більші значення, менш придатним – менші значення.

Завершальним етапом моделі є об'єднання даних у єдиний набір та присвоєння їм відповідних вагових коефіцієнтів, використовуючи калькулятор растрів (Raster Calculator).

Гідрографічні об'єкти додаємо без присвоєння їм вагового коефіцієнта, оскільки при перекласифікації їм було надано нульове значення з метою виключення територій, які вони займають, з розрахунку придатності ділянок.

Результатом виконання моделі є шар придатності ділянок для будівництва лісової пожежної станції на території ЧРЕБЗ (рис. 6). На основі даного шару було створено картосхему рекомендованих місць будівництва лісової пожежної станції на території ЧРЕБЗ з оцінюванням придатності від 2 до 8 балів.

Черговим завданням геоінформаційного аналізу та моделювання було проектування туристичних маршрутів. Дане завдання було вирішено з використанням розширення Network Analyst. Спочатку було створено набір

мережевих даних, потім, використовуючи панель інструментів Network Analyst, було створено робочий шар маршруту. Далі заносимо інформацію про точки зупинки створеного маршруту, шляхом імпортування необхідних об'єктів з шарів "Історико-культурні об'єкти" та "Туристичні об'єкти" БГД ЧРЕБЗ. Завершальним етапом є побудова оптимального маршруту та напрямків руху по ньому з використанням панелі інструментів Network Analyst (рис. 7).

Останнім вирішеним завданням геоінформаційного аналізу є отримання статистичної інформації про територію заповідника. Дане завдання було вирішено шляхом побудови моделі ModelBuilder, основу якої становить функція Summary Statistics набору інструментів Statistics Tools. Вхідними даними моделі є шари, які включають в себе дорожню мережу, залізницю, гідрографію, населені пункти, лінії електропередачі, функціональне зонування та протипожежні розриви.

За допомогою функції Summary Statistics з вихідних шарів моделі отримуємо інформацію про кількість об'єктів та їх загальну площу або довжину на території заповідника (рис. 8).

Завершальним етапом є об'єднання статистики (Merge) з різних шарів в один шар. Цей етап також передбачає створення нових атрибутивних полів та вказування значень, які їм відповідають, з різних шарів.

При дослідженні стану радіаційного забруднення території ЧРЕБЗ були порівняні різні методи інтерполяції показників пунктів моніторингу з метою вибору найкращого методу візуалізації поточного рівня радіаційного забруднення. Оптимальним методом було прийнято рішення вважати метод універсального кригінгу, оскільки порівняно з іншими методами він має найменші похибки, а саме: середня похибка дорівнює 14,4503, середня стандартизована похибка – 2,7127.

Наступним кроком було проектування оптимальних маршрутів від лісових пожежних станцій до місця пожежі двома способами: з використанням розширення Spatial Analyst та Network Analyst.

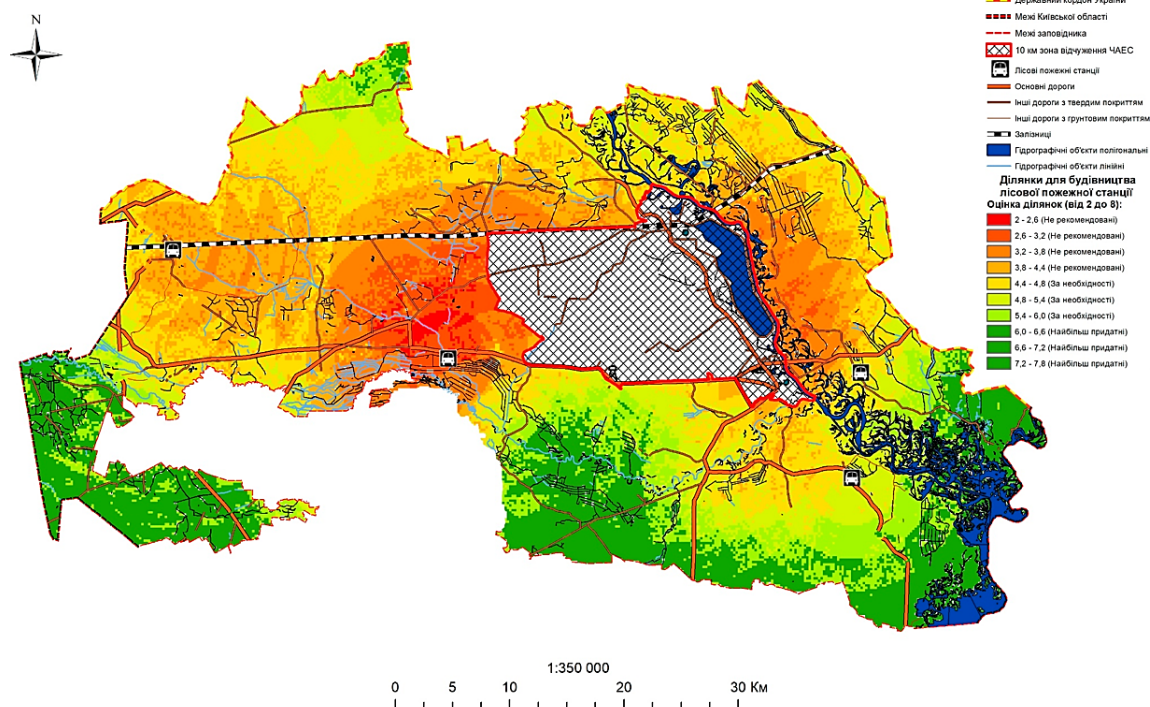


Рис. 6. Картосхема рекомендованих місць будівництва лісової пожежної станції

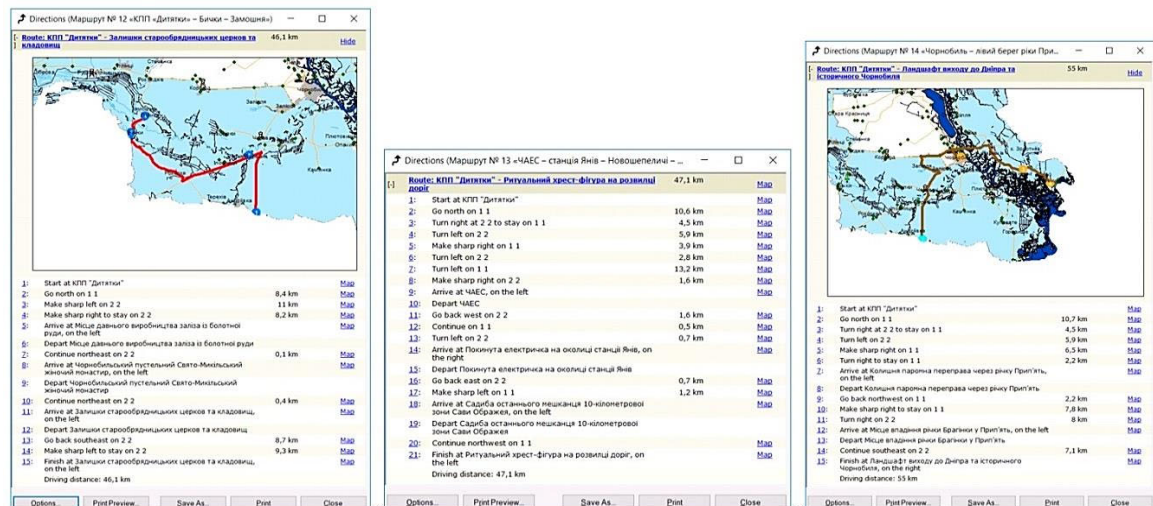


Рис. 7. Побудовані туристичні маршрути

Statistics_Merge				
OBJEKTID *	Показник	Кількість	Площа (га)	Довжина (км)
1	Антропогенних ландшафтів	818	76697.358223	<Null>
2	Буферна	595	66245.81305	<Null>
3	Заповідна	653	72598.994944	<Null>
4	Населені пункти	184	52743122.181274	<Null>
5	Основні дороги	32	<Null>	175.368124
6	Інші дороги з твердим покриттям	136	<Null>	399.597293
7	Інші дороги з ґрунтовим покриттям	15	<Null>	43.686392
8	Ширококоліїні	7	<Null>	64.868034
9	Гідрографічні об'єкти полігональні	1475	14365.109708	<Null>
11	канали	105	<Null>	199.850646
12	річка	67	<Null>	133.882269
13	струмок	79	<Null>	178.370813
14	10 кВ	17	<Null>	134.44712
15	110 кВ	12	<Null>	108.91961
16	330 кВ	6	<Null>	94.51267
17	35 кВ	9	<Null>	94.82404
18	750 кВ	4	<Null>	81.49756
19	Протипожежні розриви Існуючі	20	<Null>	111.640982
20	Протипожежні розриви Проектні	25	<Null>	162.125587

Рис. 8. Дані, отримані за допомогою моделі "Статистика"

Час виконання моделі ModelBuilder на основі інструментів Spatial Analyst сягає 17,52 секунд, що є задовільним результатом, враховуючи проведення розрахунків для території площею 226964,7 га.

Щодо точності та можливості застосування запроєктованих алгоритмів двома способами можна зробити висновки, що алгоритм з використання розширення Spatial Analyst слід використовувати у разі необхідності пошуку оптимальних маршрутів на територіях без дорожнього покриття та/або з урахуванням радіаційного стану та рельєфу місцевості, а також ряду інших факторів. Даний спосіб також досить зручний при проектуванні будівництва нової дороги.

Алгоритм на основі розширення Network Analyst, на відміну від попереднього алгоритму, доцільніше використовувати для прокладання оптимальних маршрутів по існуючій мережі доріг та в незначному радіусі від них.

Наступний розроблений алгоритм полягає у пошуку оптимальної ділянки для будівництва лісової пожежної станції. Точність застосування даного алгоритму залежить від точності вихідних даних. При проведенні дослідної реалізації завдяки розробленому алгоритму було виявлено три території, які придатні для будівництва лісової пожежної станції за заданих умов. Після чого проведено дослідження справності алгоритму шляхом візуального порівняння вихідних шарів та визначення відповідності результатів роботи алгоритму дійсності. Висновок порівняння – розроблений алгоритм у вигляді моделі ModelBuilder цілком відповідає дійсності та має право на його використання у ГІС ЧРЕБЗ.

Слід зазначити, що розроблений алгоритм можна також застосовувати для пошуку ділянок для будівництва інших об'єктів на території заповідника після внесення незначних змін у модель ModelBuilder, залежно від умов будівництва, які необхідно врахувати.

Проектування туристичних маршрутів з використанням розширення Network Analyst проведено за інформацією про історико-культурні та туристичні об'єкти, які можна побачити на маршруті. Застосування Network Analyst у даному випадку повністю автоматизує процес проектування туристичних маршрутів, оскільки в результаті отримується карта з візуалізацією маршруту та напрямки руху по маршруту, що і потрібно для виконання даного завдання.

Висновки. Геоінформаційне забезпечення природоохоронних територій значно спрощує систематичні дослідження стану природних комплексів та об'єктів; контролювання вимог, що стосуються охорони об'єктів ПЗФ при здійсненні різноманітного роду діяльності; розроблення проектних документацій; раціонального землекористування, лісовпорядкування; прийняття участі у міжнародному співробітництві щодо охорони навколишнього середовища.

Геоінформаційне забезпечення об'єктів ПЗФ активно розвивається для надання відкритого доступу до геопросторової інформації широкому колу користувачів. Як наслідок, підвищується зацікавленість туристів до даних об'єктів, що у свою чергу приводить до більшої популярності, відвідуваності та збільшення прибутку природоохоронної території. При виконанні проекту геоінформаційного

забезпечення території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника було розроблено ГІС на основі базо-орієнтованого підходу для підтримання в актуальному стані та уніфікацію різних за типом і походженням даних на єдиній цифровій топографічній основі. ГІС ЧРЕБЗ підтримує необхідний рівень взаємодії різних підрозділів органів місцевого управління, інших підприємств та установ, що забезпечують життєдіяльність заповідника.

Проблеми, які вирішуються за допомогою створеної ГІС ЧРЕБЗ:

- підтримка в актуальному стані геопросторових даних: межі заповідника; сучасний стан використання території; природні ландшафти; рослинний покрив; місця поширення рідкісних та зникаючих видів флори, фауни, рослинних угруповань; функціональне зонування території; лісонасадження заповідника; розміщення історико-культурних та рекреаційних об'єктів, екологічних стежок і туристичних маршрутів; протипожежне впорядкування території; проектний план;
- планування природно-заповідної території; організація економічно, соціально й екологічно ефективного управління заповідником;
- розроблення заходів для здійснення моніторингу довкілля;
- моніторинг стану радіаційного забруднення території заповідника;
- прийняття управлінських рішень, видача даних на тверді носії;
- візуалізація території заповідника;
- проектування туристичних маршрутів;
- надання геоінформаційної підтримки під час ліквідації лісових пожеж;
- розроблення заходів щодо здійснення природоохоронних, протиерозійних, протизсувних та протипожежних робіт, відновлення порушених природних комплексів;
- комплексна оцінка території заповідника, його господарського використання та запасів природних ресурсів, ландшафтного різноманіття, історико-культурних об'єктів, стану інженерно-транспортної інфраструктури;
- проведення науково об'єктованого функціонального зонування території заповідника;
- розроблення пропозицій щодо будівництва та реконструкції об'єктів, необхідних для забезпечення діяльності заповідника.

У процесі ГІС-забезпечення також запроєктовано портал території заповідника та алгоритми спеціалізованих функцій геоінформаційного аналізу та моделювання.

Реалізований геопортал ЧРЕБЗ повністю виконує свої інформаційно-довідкові функції, серед яких:

- візуалізація території заповідника;
- надання необхідної інформації про об'єкти геопорталу;
- забезпечення проведення вимірювань довжин, площ та координат.

На основі проведеної дослідної реалізації геопорталу ЧРЕБЗ можна зробити висновок про його придатність до використання, що зумовлює можливість його введення в постійну експлуатацію.

Список використаних джерел

- ДСТУ 8774:2018. (2018). Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних. ДП "УКРНДНЦ".
- ДСТУ ISO 19101:2009. (2009). Географічна інформація. Еталонна модель. Київ: Держспоживстандарт України.
- ДСТУ ISO 19110:2017. (2017). Географічна інформація. Методологія каталогізації об'єктів. ДП "УКРНДНЦ".
- Карпінський, Ю.О. (2012). Мережа геопорталів національної інфраструктури геопросторових даних. *Збірник наукових праць: Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку*, 5, 70-74.
- Карпінський, Ю.О., Лазоренко-Гевель, Н.Ю. (2020). Системна модель топографічного картографування в національній інфраструктурі геопросторових даних в Україні. *ISTCGCAP*, 92, 24-36. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.024>

НПП "Подільські Товтри". (н.д.). Отримано з <https://www.npptovtry.org.ua/category/pro-park/karty-shemy/>

Пересадко, В.А. (2012). Геоінформаційне забезпечення природоохоронних територій. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*, 15, 74-77.

Природні умови НПП "Пирятинський". (н.д.). Отримано з <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5eb2c2b0b18b49ce823a65047cefabe5>.

Природно-заповідний фонд України. (н.д.). Отримано з <http://pzf.menr.gov.ua/index.php>.

Про затвердження Положень про Проекти організації територій установ природно-заповідного фонду України. (2005). Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 06.07.2005, №245. Отримано з <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0829-05>

Про створення Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника. (2016). Наказ президента України від 16.04.2016, №174. Отримано з <https://www.president.gov.ua/documents/1742016-19957>

СОУ 71.12-37-949:2014. (2014). База топографічних даних. Каталог об'єктів і атрибутів: стандарт Мінагрополітики України. Київ: Мінагрополітики України.

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник. (н.д.). Отримано з <https://zapovidnyk.org.ua/>

Karpinskyi, Y., Lazorenko-Hevel N. (2020). Topographic mapping in the National Spatial Data Infrastructure in Ukraine. Отримано з https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/31/e3sconf_eepgtech2019_02004.pdf.

Protected areas. (n.d.). Отримано з <https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa?tab=WDPA>.

Protected planet. (n.d.). Отримано з <https://protectedplanet.net>.

What is a networkdataset? (n.d.) Отримано з <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/network-datasets/what-is-a-network-dataset.htm>

What is ArcGISOnline? (n.d.). Отримано з <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/what-is-arcgis.htm>.

What is the ArcGIS Geostatistical Analyst extension? (n.d.). Отримано з <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/geostatistical-analyst/what-is-arcgis-geostatistical-analyst.htm>.

References

- Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. (n.d.). Retrieved from <https://zapovidnyk.org.ua/>. [in Ukrainian]
- DSTU 8774:2018. (2018). Geographic information – Rules of modelling of spatial data. DP "UkrNDNTs". [in Ukrainian]
- DSTU ISO 19101:2009 (2009). Geographic information – Reference model. DP "UkrNDNTs". [in Ukrainian]
- DSTU ISO 19110:2017 (2017). Geographic information – Methodology for features cataloging. DP "UkrNDNTs". [in Ukrainian]
- Karpinskyi, Y. (2012). Merezha heoportativ natsional'noyi infrastruktury heoprostorovykh danykh. *Zbirnyk naukovykh prats': Natsional'ne kartohrafuvannya: stan, problemy ta perspektivy rozvytku*, 5, 70-74. [in Ukrainian]
- Karpinskyi, Y., Lazorenko-Hevel N. (2020). The system model of topographic mapping in the national spatial data infrastructure in Ukraine. *ISTCGCAP* 2020, 92, 24-36. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.024>.
- Karpinskyi, Y., Lazorenko-Hevel N. (2020). Topographic mapping in the National Spatial Data Infrastructure in Ukraine. Retrieved from https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/31/e3sconf_eepgtech2019_02004.pdf.
- Natural conditions of NPP "Pyryatynskyi". (n.d.). Retrieved from <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5eb2c2b0b18b49ce823a65047cefabe5>.
- Nature-Reserve fund of Ukraine — territories and features of NPF of Ukraine. (n.d.). Retrieved from <http://pzf.menr.gov.ua/наф-україни/території-та-об'єкти-наф-україни.html>
- NPP "Podilskyi Tovtry". (n.d.). Retrieved from <https://www.npptovtry.org.ua/category/pro-park/karty-shemy/>
- On approval of the Regulations on Projects of the organization of territories of the nature reserve fund of Ukraine institutions. (2005). Order №245, 2005, July 6. Ministry of Environmental Protection of Ukraine. Kyiv. Retrieved from <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0829-05> [in Ukrainian]
- On the establishment of the Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve. (2016). Decree of the President of Ukraine №174, 2016, April 26. Retrieved from <https://www.president.gov.ua/documents/1742016-19957> [in Ukrainian]
- Peresadko, V.A. (2012). Heoinformatsiynе zabezpechennya pryrodookhoronnykh terytoriy. *Problemy bezperervnoyi heohrafichnoyi osvity i kartohrafiyi*. 15, 74-77. [in Ukrainian]
- Protected areas. (n.d.). Retrieved from <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=64b69c0fb0834351bd6c0ceb3744c5ad>.
- Protected planet. (n.d.). Retrieved from <https://protectedplanet.net>
- SOU 71.12-37-949:2014. (2014). Baza topohrafichnykh danykh. Katalog ob'yektiv i atrybutiv: standart Minahropolityky Ukrayiny. Kyiv. Minahropolityky Ukrayiny [in Ukrainian]
- What is a networkdataset? (n.d.). Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/network-datasets/what-is-a-network-dataset.htm>
- What is ArcGISOnline? (n.d.). Retrieved from <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/what-is-arcgis.htm>
- What is the ArcGIS Geostatistical Analyst extension? (n.d.). Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/geostatistical-analyst/what-is-arcgis-geostatistical-analyst.htm>

Надійшло до редколегії 19.01.21

N. Lazorenko-Hevel¹, PhD (Tech.), Assoc. Prof.,

E-mail: nadiialg@gmail.com;

I. Galius², research engineer,

E-mail: 2014gis96@gmail.com;

V. Zatserkovnyi³, Dr. Sci. (Tech.), Prof.,

Head of Department Geoinformatics,

E-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com;

B. Denysiuk¹, Senior Lecturer,

E-mail: gis-knuba@ukr.net;

Nataliia Shudra¹, Senior Lecturer,

E-mail: shudra_n@ukr.net;

¹Kyiv National University of Construction and Architecture, 31 Povitroflotsky Ave, 03037, Kyiv, Ukraine;

²Private Joint Stock Company "Scientific and manufacturing Complex "Kurs", 9 Boryspilska, Kyiv, 02099, Ukraine;

³Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

SPECIFICITIES OF THE CREATION OF GEOINFORMATION MAINTENANCE OF THE TERRITORY OF CHORNOBYL RADIATION AND ECOLOGICAL BIOSPHERE RESERVE FOR GEOINFORMATION MONITORING CONDUCTION

The state and prospects of application of geoinformation systems (GIS) to solve monitoring tasks of nature protected territories of Ukraine are investigated. The results of the first in Ukraine project of geoinformation support of the territory of the Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve (CBR) for monitoring conduction is introduced; it is based on a geospatial database (SDB) of the reserve, which was created using an feature-oriented approach based on national standards of Ukraine DSTU 8774:2018 "Geographical information. Rules for geospatial data modeling" and DSTU ISO 19110: 2017 "Geographic information – Methodology for feature cataloging". An information and reference geoportal of the territory and facilities of the Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve has been created, which makes it possible to provide public access to the current monitoring information of the CBR based on the ArcGISOnline platform to a wide range of users. The use of the developed specialized algorithms of geoinformation analysis and modeling for monitoring of a radiation pollution condition of CBR is offered.

Peculiarities of geoinformation support of the Chornobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve for GIS monitoring are as follows: keeping up-to-date and unifying different types and origins of data on a single digital topographic basis, ensuring the required level of interaction between different local government authorities, other enterprises and institutions which ensure the viability of the reserve.

Problems solved with the help of GIS CBR: creation and maintenance of up-to-date of the spatial data such as: (boundaries of the reserve, current state of use of the territory, natural landscapes, vegetation, distribution of rare and endangered species of flora, fauna, plant communities, functional zoning, afforestation of the reserve; location of historical, cultural and recreational areas features, ecological trails and tourist routes; fire-fighting landscaping, project plan); planning of nature reserve territory; organization of economically, socially and ecologically effective management of the reserve; development of measures for environmental monitoring; monitoring of the state of radiation pollution of the reserve territory; making management decisions, issuing data on hard media; design of tourist routes; designing possible consequences of catastrophes; providing geoinformation support during forest fire fighting; development of measures for the implementation of environmental, anti-erosion, landslide and fireworks, restoration of disturbed natural complexes; comprehensive assessment of the territory of the reserve, its economic use and reserves of natural resources, landscape diversity, historical and cultural sites, the state of engineering and transport infrastructure; conducting scientifically substantiated functional zoning of the reserve territory; development of proposals for the construction and reconstruction of facilities necessary to ensure the activities of the reserve.

Keywords: spatial database, GIS, geoinformation maintenance, geoinformation monitoring, Chornobyl radio-ecological reserve, geospatial database, GIS CBR, geoinformation analysis.

Н. Лазоренко-Гевель¹, канд. техн. наук, доц.,

E-mail: nadiialg@gmail.com;

И. Галиус², инженер-исследователь,

E-mail: 2014gis96@gmail.com;

В. Зацерковный³, д-р техн. наук, проф.,

E-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com;

Б. Денисюк¹, ст. преподаватель,

E-mail: gis-knuba@ukr.net;

Н.Шудра¹, ст. преподаватель,

E-mail: shudra_n@ukr.net;

¹Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03037, Украина;

²ПРАТ "Научно-производственный комплекс "Курс", ул. Бориспольская, 9, г. Киев, 02099, Украина;

³Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Исследовано состояние и перспективы применения геоинформационных систем (ГИС) для решения мониторинговых задач природоохранной территории Украины. Представлены результаты выполненного впервые в Украине проекта геоинформационного обеспечения территории Чернобыльского радиационно-экологического биосферного заповедника (ЧРЕБЗ) для ведения мониторинга, основой которого является база геопространственных данных (БГД) территории заповедника, созданная с применением объектно-ориентированного подхода на основе национальных стандартов Украины DSTU 8774: 2018 "Географическая информация. Правила моделирования геопространственных данных" и DSTU ISO 19110: 2017 "Географическая информация. – Методология для каталогизации объектов".

Создан информационно-справочный геоportal территории и объектов Чернобыльского радиационно-экологического биосферного заповедника, который для широкого круга пользователей делает возможным предоставление публичного доступа к актуальной мониторинговой информации ЧРЕБЗ на основе платформы ArcGISOnline. Предложено использование разработанных специализированных алгоритмов геоинформационного анализа и моделирования для мониторинга состояния радиационного загрязнения ЧРЕБЗ.

Особенностями геоинформационного обеспечения территории Чернобыльского радиационно-экологического биосферного заповедника для ведения ГИС мониторинга являются: поддержание в актуальном состоянии и унификация различных по типу и происхождению данных на единой цифровой топографической основе, обеспечение нужного уровня взаимодействия различных подразделений органов местного управления, других предприятий и учреждений, которые обеспечивают жизнедеятельность заповедника.

С помощью ГИС ЧРЕБЗ решены задачи создания и поддержания в актуальном состоянии геопространственных данных, таких как: границы заповедника; современное состояние использования территории; природные ландшафты; растительный покров; места распространения редких и исчезающих видов флоры, фауны, растительных группировок; функциональное зонирование территории; лесонасаждения заповедника; размещение историко-культурных и рекреационных объектов, экологических троп и туристических маршрутов; противопожарное благоустройство территории; проектный план; а также планирование природно-заповедной территории; организация экономически, социально и экологически эффективного управления заповедником; разработка мероприятий для осуществления мониторинга окружающей среды; мониторинга состояния радиационного загрязнения территории заповедника; принятие управленческих решений, выдача данных на твердые носители; проектирование туристических маршрутов; проектирование возможных последствий катастроф; предоставление геоинформационной поддержки при ликвидации лесных пожаров; разработка мероприятий по осуществлению природоохранных, противоэрозийных, противооползневых и противопожарных работ, восстановление нарушенных природных комплексов; комплексная оценка территории заповедника, его хозяйственного использования и запасов природных ресурсов, ландшафтного разнообразия, историко-культурных объектов, состояния инженерно-транспортной инфраструктуры; научно обоснованного функционального зонирования территории заповедника; разработка предложений по строительству и реконструкции объектов, необходимых для обеспечения деятельности заповедника.

Ключевые слова: база геопространственных данных, ГИС, геоинформационное обеспечение, геоинформационный мониторинг, Чернобыльский радиационно-экологический биосферный заповедник, ГИС ЧРЕБЗ, геоинформационный анализ.

УДК 004.032.26+504.06

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.13>

О. Гетманець, канд. фіз.-мат. наук, доц.,

E-mail: getmanets54@gmail.com;

М. Пеліхатий, д-р фіз.-мат. наук, проф.,

E-mail: nikolay42@gmail.com;

Харківський національний університет ім. В. Каразіна,

Пл. Свободи, 6, м. Харків, 61022, Україна

САМОНАВЧАЛЬНІ НЕЙРОННІ КАРТИ В ЗАДАЧАХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром техн. наук, проф. В.І. Зацерковним)

При проведенні екологічного моніторингу стану довкілля за вимірними значеннями деякого абіотичного фактору існує проблема: як на підставі результатів вимірювань, що були проведені в кінцевому числі точок, побудувати цілісну неперервну карту забруднення на всій контрольованій території. Мета роботи: дослідити можливості застосування методу самонавчальних нейронних карт (Self Organizing Map – SOM) для завдань екологічного моніторингу довкілля, а саме для побудови детальної безперервної карти екологічних забруднень на місцевості. Алгоритм роботи SOM включає: 1) розташування на карті контрольованої території активної нейронної мережі заданої топології із заздалегідь визначеною кількістю вузлів-нейронів; 2) вибір вхідного вектора з набору даних спостережень; 3) знаходження найбільш близького значення вектора вузла-нейрона ("нейрона-переможця") на карті; 4) визначення кількості найближчих сусідніх нейронів до нейрона-переможця; 5) навчання мережі, в ході якого значення вектора нейрона-переможця і найближчих сусідніх нейронів поступово змінюються, наближаючись до значення векторів вхідних нейронів – даних спостережень; 6) визначення помилки карти. Методи досліджень: вимірювання амбієнтного еквівалента потужності дози безперервного рентгенівського і гамма-випромінювання за допомогою дозиметра МКС-05 "ТЕРРА"; як матеріали досліджень було використано результати вимірювань потужності дози на території історичного центру м. Харкова; обробка отриманих даних методами SOM за допомогою комп'ютерних програм MatLab 8.1 та STATISTICA 10. Результати: у процесі 1000 циклів самонавчання нейронної мережі з 100 активних нейронів, розташованих випадковим чином на карті контрольованої території, було одержано 25 вихідних нейронних кластерів, координати центрів яких практично збігалися з координатами точок спостережень. Таким чином була отримана безперервна карта радіаційного фону на контрольованій території. Точність карти становила не гірше за 0,25 мкР/год. Висновки: у роботі доведено можливість застосування методу самонавчальних нейронних карт (SOM) для побудови детальної карти рівня екологічних забруднень на місцевості за результатами вимірювань значень деякого абіотичного фактору в кінцевому числі точок спостережень. Доведено, що даний метод є більш точним та надійним порівняно з методами регресійної картографії та кластерного аналізу, від яких він принципово відрізняється. Можливості істотного поліпшення точності методу полягають у збільшенні кількості початкових нейронів на карті місцевості і кількості ітерацій у процесі їх навчання.

Ключові слова: екологічний моніторинг, рентгенівське та гамма-випромінювання, нейромережеві алгоритми, самонавчальні нейронні карти, SOM.

Вступ. При проведенні екологічного моніторингу стану довкілля за вимірними значеннями деякого абіотичного фактору, наприклад, рівня радіації, хімічного забруднення будь-якою речовиною, рівня акустичного шуму, інтенсивності фонових електричного або магнітного поля та ін., існує така проблема: як на підставі результатів вимірювань, що були проведені в кінцевому числі точок, розташованих всередині контрольованої зони, побудувати цілісну карту забруднення на всій контрольованій території. Багато в чому це завдання є аналогічним до завдання відновлення зображення за його точковими фрагментами (наприклад, Василенко та Тараторин, 1986; Некос та ін., 2007, 2008).

Існують різні підходи до вирішення цієї проблеми. Значна частина з них пов'язана з регресійною картографією – побудовою рівняння лінійної чи нелінійної регресії для залежності чисельних значень показника абіотичного фактору від координат довільної точки на карті контрольованої території в різних ступенях на підставі результатів вимірювань в кінцевому числі контрольних точок із застосуванням методу найменших квадратів (наприклад, Некос та ін., 2009; Гетманець та ін., 2010; Антропов та ін., 2010). Якщо кількість точок спостережень досить велика, то цей підхід дає доволі добрі результати всередині контрольованої зони, але призводить до суттєвих похибок прогнозів поблизу її кордонів, де абсолютні значення координат (відносно центру зони) значні, до того ж вони підносяться до різних додатних ступенів.

Можна будувати рівняння регресії не за абсолютними значеннями координат, а за координатами, які відліковуються як найменша відстань від довільної точки зони до деякої ламаної лінії, що послідовно з'єднує усі точки спостережень (Гетманець та Пеліхатий, 2016; Гетманець та ін., 2017; Гетманець, 2018). Тоді аномалії поблизу кордонів контрольованої зони усуваються,

але передбачення рівняння регресії є нестійкими відносно малих зміщень положення точки на карті далеко від точок спостережень, коли відстані від цієї точки до декількох з них приблизно рівні, і передбачення рівняння регресії навіть за незначних зсувів точок на карті змінюються стрибкоподібно.

У роботі (Гетманець та ін., 2019) було досліджено можливість застосування кластерного аналізу для побудови карт радіаційного забруднення довкілля. Після обробки результатів вимірювань із застосуванням різних методів кластеризації було встановлено, що результати аналізу якісно збігаються між собою, і доведено можливість застосування кластерного аналізу для побудови карти забруднень. Однак ці карти є недостатньо детальними, оскільки проєкції "радіаційних кластерів", які являють собою кулі в тривимірному просторі (дві координати – це декартові координати x і y у місцевості, а третя – рівень забруднення z у даній точці), на двовимірну поверхню контрольованої зони є колами, що перетинаються, радіуси яких достатньо великі.

У наш час інтенсивно розвиваються нейромережеві алгоритми (наприклад, Уоссермен, 1992; Ежов та Шумський, 1998). Один з них – самонавчальні або самоорганізаційні нейронні карти (Self Organizing Map або SOM) (Kohonen, 1995). Алгоритм SOM базується на двох основних механізмах – векторному квантуванні і проєктуванні, тому цей метод можна використовувати для кластеризації, пошуку та аналізу закономірностей у вихідних даних, а також для заповнення пропусків у даних. Як і будь-яка нейромережа, SOM складається з вузлів-нейронів. Кожен вузол нейромережі описується двома векторами: вектором ваги m , який має розмірність вихідних даних (показник рівня забруднення), і вектором координат вузла на карті $r(x, y)$. Алгоритм роботи SOM складається з таких кроків: 1) розташування на карті

всієї контрольованої території активної нейронної мережі заданої топології із заздалегідь визначеною кількістю вузлів-нейронів; 2) вибір вхідного вектора з набору даних спостережень; 3) знаходження найбільш близького значення вектора вузла-нейрона (так званого, нейрона-переможця) на карті; 4) визначення кількості найближчих сусідніх нейронів до нейрона-переможця; 5) навчання мережі, в ході якого значення вектора нейрона-переможця і найближчих сусідніх нейронів поступово змінюються, наближаючись до значення вхідних векторів – даних спостережень; 6) визначення помилки карти. Цикл закінчується або при виконанні певної кількості ітерацій, або при досягненні наперед визначеної похибки карти.

Метою даної роботи є дослідження можливості застосування методу SOM для побудови детальної карти екологічних забруднень на місцевості на основі даних локальних вимірювань, що були проведені в кінцевому числі точок всередині контрольованої зони. Як приклад розглядається побудова карти поля радіаційного фону безперервного рентгенівського і гамма-випромінювання.

Матеріали та методи досліджень. Як матеріали досліджень були використані результати вимірювань амбієнтного еквівалента потужності дози безперервного рентгенівського і гамма-випромінювання на території історичного центру м. Харкова, що обмежена річками Лопань і Харків аж до їх злиття (*Гетманець та ін., 2020*). Вимірювання проводилися протягом жовтня 2019 р. щодня з 10-ї до 12-ї години за допомогою дозиметра МКС-05 "ТЕРРА" з абсолютною помилкою відліку 0,01 мкЗв/год. Цей прилад призначений для дозиметричного і радіометричного контролю на промислових підприємствах; для екологічних досліджень; для контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель, споруд та прилеглої до них території.

Карту території, на якій проводилися вимірювання, наведено на рис. 1. На цій карті показано розташування

усіх 25 точок спостережень. Карта вертикально орієнтована з півдня на північ, а горизонтально – із заходу на схід. За початок відліку координат прийнято точку 1, розташовану навпроти центрального входу в будівлю Харківської міської держадміністрації.

Як більш конкретний приклад будемо розглядати обробку результатів вимірювань потужності дози безперервного рентгенівського і гамма-випромінювання, що були виконані 1 жовтня 2019 р. Відповідні значення потужності дози разом з координатами точок спостережень наведено в табл. 1. Для спрощення і більшої наочності аналізу потужності дози будемо визначати в позасистемних одиницях – мкР/год, замість одиниць системи СІ – мкЗв/год (саме в одиницях мкЗв/год проградуєвана шкала дозиметра МКС-05 "ТЕРРА"). Коефіцієнт перерахунку такий: 1 мкР/год = 0,01 мкЗв/год. Дані 2-го, 3-го та 5-го стовпчиків табл. 1 для кожної точки спостережень в термінах SOM являють собою так звану вхідну або "навчальну вибірку" з 25 3-вимірних векторів.

Обробка цих даних проводилася методами SOM за допомогою пакета Neural Network Toolbox програми MatLab 8.1 (фірми MathWorks, US) (див., наприклад, *Ефименко і Ситица, 2017*).

Ініціалізація SOM здійснювалася таким чином. На рис. 2 як приклад показано активну нейронну мережу, що складалася з 100 нейронів-вузлів, розташованих випадковим чином (топология "randtop") на площі розміром близько 1,5 км², яка перекривала всю контрольовану зону (рис. 1). Кожен активний нейрон характеризувався вектором ваги m , який мав розмірність вихідних векторів – даних 5-го стовпчика табл. 1 (мкР/год), і вектором розміщення $r(x,y)$ на карті (рис. 2). Позиції активних нейронів на карті ініціювалися за допомогою коду: $P = \text{rands}(2, 100)$. Вектори ваги нейронів мали цілі значення в одиницях мкР/год, які обиралися випадковим чином з інтервалу 8 мкР/год – 18 мкР/год. У цей діапазон потрапляли усі результати вимірювань (табл. 1). Отже, активна нейронна мережа являла собою випадкову тривимірну вибірку.

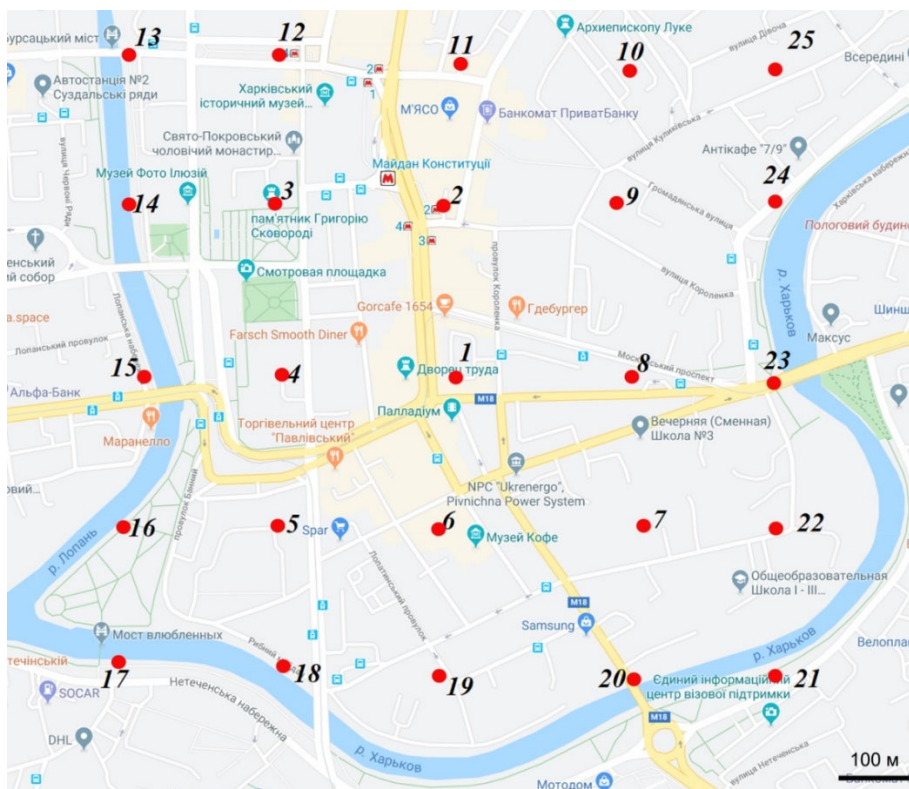


Рис. 1. Карта-схема розташування точок спостережень на території історичного центру м. Харкова

Таблиця 1

Результати вимірювань амбієнтного еквівалента потужності дози неперервного рентгенівського та гамма-випромінювання станом на 1 жовтня 2019 року

№ точки спостережень	Координати, м		Потужність дози	
	X	Y	мкЗв/год	мкР/год
1	0	0	0,13	13
2	-5	255	0,13	13
3	-262	270	0,14	14
4	-259	4	0,14	14
5	-275	-247	0,11	11
6	-2	-253	0,13	13
7	269	-244	0,13	13
8	235	17	0,12	12
9	255	285	0,13	13
10	249	589	0,15	15
11	-8	517	0,14	14
12	-263	533	0,14	14
13	-526	522	0,12	12
14	-505	282	0,12	12
15	-518	13	0,15	15
16	-516	-250	0,11	11
17	-527	-507	0,14	14
18	-251	-501	0,11	11
19	-3	-517	0,14	14
20	258	-506	0,13	13
21	512	-502	0,11	11
22	518	-241	0,12	12
23	512	12	0,17	17
24	509	276	0,15	15
25	505	533	0,14	14

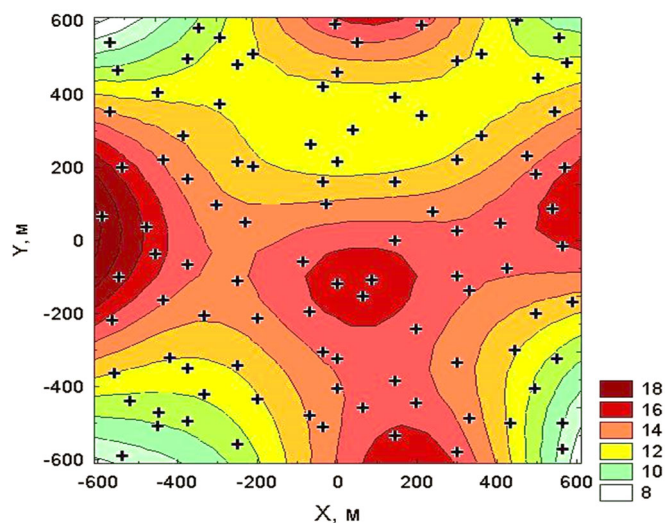


Рис. 2. Активна нейронна мережа з 100 нейронів-вузлів (хрестики). Шкала значень векторів ваги нейронів у мкР/год

Недоліком візуалізації результатів процесу самонавчання нейронів у середовищі MatLab є те, що нейронна мережа має вигляд багатокольорової "мозаїки" з багатокутників типу Вороного-Діріхле, де кожен колір відповідає певному значенню вектора ваги. Тому на рис. 2 і всіх подальших картах нейронних мереж і нейронних кластерів для поліпшення візуалізації використовувався метод адаптивного згладжування Брауна (*Neter et al., 1985; Hill et al., 2006*) у вигляді зваженого методу найменших квадратів (Weighted Least Squares). Цей метод був реалізований на підставі даних обчислень у MatLab за допомогою програми STATISTICA 10 (фірми StatSoft Inc, US).

Самонавчання нейронної мережі здійснювалося в два етапи: етапу впорядкування векторів вагових коефіцієнтів і етапу підстроювання ваг активних нейронів щодо набору векторів входу – даних вимірювань.

SOM створювалася за допомогою команди: `net = newsom(PR,[d1,d2,...], tfcn, dfcn, olr, osteps, tlr, tnd)`, де PR – (R×2)-матриця мінімальних і максимальних значень

R=100 активних нейронів; di – розмірність шару ([8; 18], [100]) в одиницях мкР/год; tfcn – вибір топології (для випадкової топології рис. 2 застосовувалася функція "randtop"); dfcn – функція відстані (було обрана "linkdist" – відстань зв'язку); olr – параметр швидкості навчання на етапі впорядкування; osteps – кількість циклів навчання на етапі підстроювання; tlr – параметр швидкості навчання на етапі підстроювання; tnd – розмір околу активного нейрона на етапі підстроювання.

На етапі впорядкування використовувалося фіксоване число кроків (20). Початковий розмір околу нейрона призначався рівним максимальній відстані між нейронами і потім зменшувався до величини, яка застосовувалася на наступному етапі. Окіл визначався згідно з формулою: $pd = 1,00001 + (\max(d) - 1) \cdot (1 - s/S)$, де $\max(d)$ – максимальна відстань між активними нейронами; s – номер поточного кроку; S – кількість кроків на етапі впорядкування (20). Параметр швидкості навчання змінювався згідно з правилом: $lr = tlr + (olr - tlr) \cdot (1 - s/S)$.

На етапі підстроювання, який тривав протягом всієї останньої частини процедури навчання, розмір околу залишався сталим і дорівнював: $nd = tnd + 0,00001$, а параметр швидкості навчання змінювався згідно з правилом: $lr = tlr \cdot S/s$. Параметр швидкості навчання продовжував зменшуватися, але дуже повільно. Малі значення околу і повільне зменшення параметру швидкості навчання добре налаштовують нейронну мережу при збереженні розміщення, яке було знайдено на попередньому етапі. Число кроків на етапі підстроювання повинно значно перевищувати число кроків на етапі розміщення. На цьому етапі відбувалося тонке настроювання ваг нейронів щодо набору векторів входів – даних спостережень. На етапі підстроювання корегувалися ваги не тільки нейронів-переможців, а й групи нейронів з їх деякого просторового околу (в 1 нейрон). При цьому значення векторів нейрона-переможця і найближчих сусідніх нейронів змінювалися, наближаючись до значення векторів входу – даних спостережень.

Налаштування SOM здійснювалося по кожному вхідному вектору з вагою P . Спочатку визначався нейрон-переможець і корегувався його вектор ваги W , а також вектори сусідніх нейронів відповідно до співвідношення: $dW = lr \cdot A2 \cdot (P - W)$, де lr – параметр швидкості навчання, який дорівнював olr для етапу впорядкування нейронів і tlr – для етапу підстроювання; $A2$ – масив сусідства для нейронів з номером q , розташованих в околі нейрона-переможця з номером i :

$$A2(i, q) = \begin{cases} 1 & a(i, q) = 1, \\ 0,5 & a(i, q) = 1, D(i, j) \leq nd, \\ 0 & \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

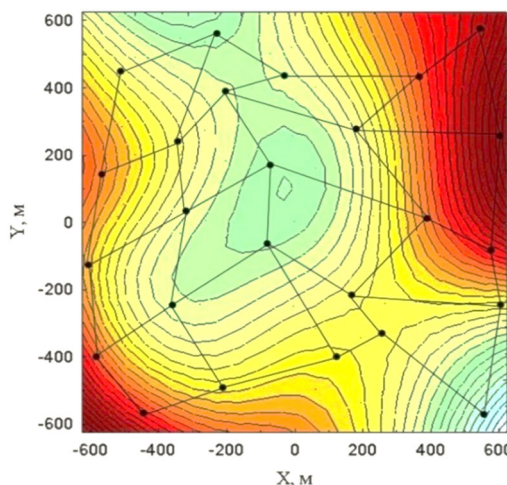


Рис. 3. Один з початкових етапів впорядкування нейронної мережі. Точки – центри кластерів. Шкала в мкР/год

Результати та їх обговорення. Завершення всього процесу навчання нейронної мережі ілюструє рис. 5 – карта вихідного топологічного шару активних нейронів після 1000 циклів підстроювання. Нейрони об'єдналися в 25 кластерів, координати центрів яких практично збігаються з координатами 25 точок спостережень на рис. 1.

На рис. 5 точками позначені центри кластерів, а хрестиками – нейрони вихідного топологічного шару (положення нейронів-переможців збігаються з центрами кластерів). Цю візуалізацію можна одержати за допомогою команди: "SOM Weight Positions". Таким чином, завдяки механізмам SOM, 100 нейронів активної мережі рис. 2 "спроектувалися" на 25 вхідних векторів – даних спостережень – зі збереженням топологічної подібності. Так було отримано стійку (оскільки було проведено 1000 циклів навчання на етапі підстроювання) карту радіаційного фону на контрольованій території. Нейрони вихідного топологічного

де $a(i, q)$ – елемент виходу нейронної мережі; $D(i, j)$ – відстань між нейронами з номерами i та j відповідно; nd – розмір околу нейрона-переможця. Таким чином, вага нейрона-переможця змінювалася пропорційно половині значення параметру швидкості навчання, а вага сусідніх нейронів – пропорційно половині значення цього параметру для нейрона-переможця. Параметр швидкості навчання нейронів на етапі впорядкування дорівнював $olr = 0,9$; число циклів навчання на етапі підстроювання було обрано: $osteps = 1000$; параметр швидкості на етапі підстроювання дорівнював $tlr = 0,02$; розмір околу на етапі підстроювання $tnd = 1$ (один нейрон); відстань між нейронами ($dist$) було обрано евклідовою; максимальне координатне зміщення $boxdist = 250$ м відповідало топології розміщення нейронів на рис. 2. На етапі підстроювання проводилося точне підстроювання ваг, коли значення параметрів швидкості навчання були набагато менше початкових, так що наприкінці навчання вчилися лише нейрони-переможці.

На рис. 3 показано нейронну карту на етапі впорядкування після 10 циклів навчання.

Рис. 3 свідчить про те, що SOM почала організовуватися в 25 кластерів відповідно до топології вхідного простору, який обмежений 25 вхідними векторами – даними спостережень.

На рис. 4 наведено нейронну карту на етапі підстроювання після 200 циклів навчання. Ця карта більш рівномірно розподілена по вхідному простору.

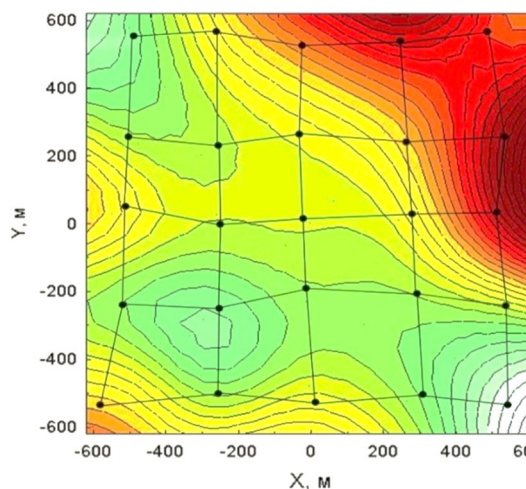


Рис. 4. Один з етапів процесу підстроювання нейронної мережі. Точки – центри кластерів. Шкала в мкР/год

шару допомогли доповнити дані спостережень (заповнити пропуски в даних).

Рис. 5 свідчить про те, що точність карти радіаційного фону за кількістю ліній рівня не гірша за 0,25 мкР/год, що приблизно в чотири рази менше ціни відліку дозиметра. Це якісно можна пояснити тим, що кількість активних нейронів на рис. 2 у чотири рази перевищувала кількість точок спостережень. Причому якість цієї карти набагато вища, ніж карти, побудованої на основі тих самих даних методом регресійної картографії (Гетманець та ін., 2020). Точність карти можна підвищити, збільшивши кількість початкових активних нейронів і кількість циклів навчання в програмі.

Відзначимо, що найвища потужність дози (17 мкР/год) спостерігалася в точці № 23 на в'їзді на Харківський міст (причини цього пов'язані з транспортним потоком та вибором будівельних матеріалів і обговорю-

ються окремо в роботі (Гетманець та ін., 2020)), а найнижча (11 мкР/год) у точці № 21 на Гімназійній набережній за річкою Харків. Був також виявлений "острівець" низької потужності дози між точками № 5, № 16 і № 18 у сквері на стрілці річок Лопань і Харків.

Відмінність і перевага методу самонавчальних нейронних мереж порівняно з методами регресійної картографії полягає в тому, що число початкових активних нейронів може бути вибрано дуже великим. Нейронні мережі в процесі навчання перебудовуються під впливом векторів входу – результатів точкових вимірювань і

об'єднуються в кластери, заповнюючи практично весь простір контрольованої зони, зберігаючи топологічну подібність, і на кінцевому етапі навчання утворюють карту поля екологічних забруднень з будь-якою заданою точністю. Іншою відмінністю методу самонавчальних нейронних мереж порівняно з методами кластерного аналізу є те, що він є динамічним, тому що в процесі навчання значення вектора ваги нейрона-переможця і найближчих сусідніх нейронів безперервно змінюються, наближаючись до значення вхідних векторів – даних спостережень.

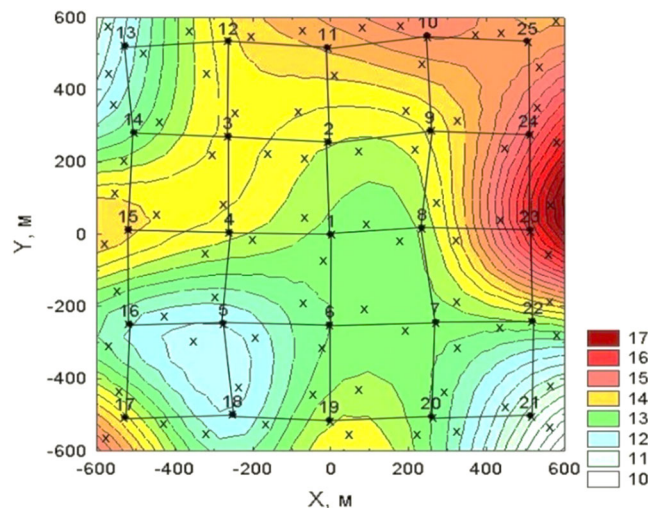


Рис. 5. Карта радіаційного фону на контрольованій території.
Точки – центри кластерів; хрестики – нейрони вихідного шару.
Цифрами позначені номери точок спостережень згідно з рис. 1. Шкала в мкР/год

Висновки. Отже, у даній роботі доведено можливість застосування методу самонавчальних нейронних карт (SOM) для побудови безперервної картини рівня екологічних забруднень на місцевості за результатами вимірювань значень показника деякого абіотичного фактора в кінцевому числі точок спостережень всередині контрольованої території. Показано, що даний метод є більш точним і надійним порівняно з методами регресійної картографії та кластерного аналізу, від яких він принципово відрізняється своєю динамічністю. Можливості істотного поліпшення точності розглянутого методу полягають у збільшенні кількості початкових активних вузлів-нейронів на карті місцевості, а також числа ітерацій у процесі їх навчання

Список використаних джерел

- Антропов, К., Казамер, Ю., Вараксин, А. (2010). Описание пространственного распределения загрязнения атмосферного воздуха промышленного центра методом Land Use Regression (обзор). *Экологические системы и приборы*, 1, 28–41.
- Василенко, Г., Тараторин, А. (1986). Восстановление изображений. М.: Радио и связь.
- Гетманець, О.М., Гордієнко, В.Г., Дроздов, О.О., Пеліхатий, М.М. (2010). Спосіб радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу. (Україна). *Патент на корисну модель 50154, МПК G01T1/167. u200912882*; заявл. 11.12.2009. *Бюл. № 10*.
- Гетманець, О., Пеліхатий, Н. (2016). Разработка алгоритма построения поля радиационного фона. *Вісник Харківського національного університету ім. В. Каразіна: Екологія*, 14, 41–45.
- Гетманець, О., Іванова, К., Пеліхатий, М. (2017). Модель побудови поля радіаційного фону. *Вісник Харківського національного університету ім. В. Каразіна: Екологія*, 17, 99–105.
- Гетманець, О.М. (2018). Спосіб радіаційного моніторингу місцевості в режимі реального часу. (Україна). *Патент на корисну модель 125329, МПК G01T1/167. u201711031*; заявл. 13.11.2017. *Бюл. № 9*.
- Гетманець, О., Некос, А., Пеліхатий, М. (2019). Кластерний аналіз і радіаційний моніторинг довкілля. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3 (86), 75–79.
- Гетманець, О., Пеліхатий, М., Переверзев, Б. (2020). Дослідження радіаційного фону на території історичного центру м. Харкова. *Вісник Харківського національного університету ім. В. Каразіна: Екологія*, 22, 54–64.

- Ежов, А., Шумский, С. (1998). Нейрокомпьютинг и его применение в экономике и бизнесе. М.: ИНТУИТ.
- Ефименко, Г., Синица, А. (2017). Нейронные сети в MatLab. *Digitatory*, 2017. Отримано 07.09.2020, з <https://digitatory.ru/> / 508.
- Некос, В., Юшманова, І., Пеліхатий, М. (2007). Розробка систем радіаційного моніторингу довкілля. *Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології*, 9, 52–62.
- Некос, В., Пеліхатий, М., Юшманова, І. (2008). Методи і алгоритми визначення радіаційного стану довкілля. *Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології*, 1–2 (11–12), 90–98.
- Некос, В., Гетманець О., Пеліхатий Н. (2009). Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени. *Журнал науковых праць. Людина і довкілля. Проблеми неоекології*, 2 (13), 7–13.
- Уоссермен, Ф. (1992). Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. М.: Мир.
- Hill, T., Lewicki, P., Lewicki, P. (2006). *Statistics: Methods and Applications: A Comprehensive Reference for Science, Industry and Data Mining*. Tulsa Okla UK: StatSoft Ltd.
- Kohonen, T. (1995). *Self-Organizing Maps*. Berlin: Springer-Verlag.
- Neter, J., Wasserman, W., Kutner, M.H. (1985). *Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs*. New York: R.D. Irwin.

References

- Antropov, K., Kazamer, Yu., Varaksyn, A. (2010). Opysanye prostranstvennogo raspredeleniya zagryazneniya atmosfernogo vozdukhа promyshlennogo centra methodom Land Use Regression (obzor). *Ecologicheskyye systemy i pribory*, 1, 28 – 41. [In Russian]
- Efymenko, H., Synytsa, A. (2017). Neironnye sety v MatLab. *Digitatory*, 2017. Retrieved 07.09.2020, from [// digitatory.ru/](https://digitatory.ru/) / 508. [In Russian]
- Ezhov, A., Shumskiy, S. (1998). *Neirokomputing y ego prymerenye v ekonomyye y byznese*. M.: INTUIT. [In Russian]
- Getmanets, O.M., Gordienko, V.G., Drozdov, A.A., Pelikhatyi, M.M. (2010). Sposib radiatsiynogo monitoringu mistsevoosti u rezhymy realnoho chasu. (UA). *Certificate of authorship 50154, MPK G01T1/167. u200912882*; declared 11.12.2009. *Bulletin No 10*. [In Ukrainian]
- Getmanets, O., Pelykhatyi, N. (2016). Razrabotka alhorytma postroyeniya polia radyatsyonnogo fona. *Visnyk of V. Karazin National University of Kharkiv: Ecology*, 14, 41 – 45. [In Russian]
- Getmanets, O., Ivanova, K., Pelikhatyi, M. (2017). Model pobudovy polia radiatsiynogo fonu. *Visnyk of V. Karazin National University of Kharkiv: Ecology*, 17, 99 – 105. [In Ukrainian]
- Getmanets, O.M. (10.05.2018). Sposib radiatsiynogo monitoringu mistsevoosti u rezhymy realnoho chasu. (UA). *Certificate of authorship 125329, MPK G01T1/167. u201711031*; declared 13.11.2017. *Bulletin No 9*. [In Ukrainian]

Getmanets, O., Nekos, A., Pelikhatyi, M. (2019). Clasternyi analiz i radiatsiyni monitoring dovkillia. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3 (86), 75 – 79. [In Ukrainian]

Getmanets, O., Pelikhatyi, M., Pereverziev, B. (2020). Doslidzhennia radiatsiinogo fonu na terytorii istoricheskogo tsentru m. Kharkova. *Visnyk of V. Karazin National University of Kharkiv: Ecology*, 22, 54 – 64. [In Ukrainian]

Hill, T., Lewicki, P., Lewicki, P. (2006). *Statistics: Methods and Applications: A Comprehensive Reference for Science, Industry and Data Mining*. Tulsa Okla UK: StatSoft Ltd.

Kohonen, T. (1995). *Self-Organizing Maps*. Berlin: U. Springer-Verlag.

Nekos, V., Yushmanova, I., Pelikhatyi, M. (2007). Rozrobka system radiatsiinoho monitoringu dovkillia. *Journal naukovykh prats: Liudyna i dovkillia. Problemy neoeologii*, 9, 52 – 62. [In Ukrainian]

Nekos, V., Pelikhatyi, M., Yushmanova, I. (2008). Metody i alhorytmy vyznachennia radiatsiinoho stanu dovkillia. *Journal naukovykh prats: Liudyna i dovkillia. Problemy neoeologii*, 1–2 (11–12). 90 – 98. [In Ukrainian]

Nekos, V., Getmanets O., Pelykhatyi N. (2009). Alhorytmy radyatsyonnoho monitorynha mestnosti v rezhyme realnogo vremeni. *Journal naukovykh prats. Liudyna i dovkillia. Problemy neoeologii*, 2 (13), 7–13. [In Russian]

Neter, J., Wasserman, W., Kutner, M. H. (1985). *Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs*. New York: R.D. Irwin.

Uossermen, F. (1992). *Neirokompiuternaia tekhnika: Teoriya y praktyka*. M.: Mir. [In Russian]

Vasylenko, H., Taratyrn, A. (1986). *Vosstanovleniye yzobrazheniy*. M.: Radyo i sviaz. [In Russian]

Надійшла до редколегії 22.12.2020

O. Getmanets, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,
E-mail: getmanets54@gmail.com;
M. Pelikhatyi, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,
E-mail: nikolay42@gmail.com;
V. Karazin Kharkiv National University
6, Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

SELF ORGANIZING NEURAL MAPS IN THE PROBLEMS OF ECOLOGICAL MONITORING

There is a certain problem in ecological monitoring of the environment state according to the measured values of a certain abiotic factor. Namely, how to build a continuous map of environmental pollution throughout the controlled area, based on the results of measurements carried out at a finite number of points inside the controlled territory. The aim of the work is to study the possibility of using the method of self organizing neural maps (SOM) for the problems of the ecological monitoring of the environment, and specifically for building an accurate continuous map of environmental pollution on the ground. The materials and methods of researches are the results of measurements the ambient equivalent of the continuous X-ray and gamma radiation dose rate on a territory of the historical center of Kharkiv has been used as research materials; processing of the obtained data by SOM's methods using MatLab 8.1 and STATISTICA 10 computer programs has been done. Results: in the process of 1000 self-learning cycles of a neural network of 100 initial active neurons randomly located on the controlled area map, 25 neural clusters have been obtained, the coordinates of the centers of which practically coincided with the 25 control points coordinates. A continuous map of the background radiation on the controlled area has been built. The accuracy of this map was no worse than 0.25 $\mu\text{R}/\text{hour}$. Conclusions: the possibility of using the SOM methods to build a continuous map of the level of environmental pollution on the ground based on the results of measuring the values of a certain abiotic factor in a finite number of points has been proven. It has been proven that this method is more accurate compared to the methods of regression mapping and cluster analysis, from which it is essentially different. The possibilities for a significant improvement in the accuracy of the method lie in increasing the number of initial neurons on the terrain map and the number of iterations during their training.

Keywords: ecological monitoring, X-ray and gamma radiation, neural network algorithms, self organizing neuron maps, SOM.

O. Гетманец, канд. физ.-мат. наук, доц.,
E-mail: getmanets54@gmail.com;
Н. Пелихатый, д-р физ.-мат. наук, проф.,
E-mail: nikolay42@gmail.com;
Харьковский национальный университет им. В. Каразина,
Пл. Свободы, 6, г. Харьков, 61022, Украина

САМООБУЧАЮЩИЕСЯ НЕЙРОННЫЕ КАРТЫ В ЗАДАЧАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

При проведении экологического мониторинга состояния окружающей среды по измеренным значениям некоторого абиотического фактора существует проблема: как на основании результатов измерений, проведенных в конечном числе точек внутри контролируемой зоны, построить непрерывную карту экологических загрязнений на всей контролируемой территории. Цель работы: исследование возможности применения метода самообучающихся нейронных карт (Self Organizing Map – SOM) для задач экологического мониторинга окружающей среды, а именно – для построения точной непрерывной карты экологических загрязнений на местности. Алгоритм работы SOM включает следующие шаги: 1) размещение на карте всей контролируемой территории начальной активной нейронной сети заданной топологии с заранее определенным числом узлов-нейронов; 2) выбор входного вектора из набора данных наблюдений; 3) нахождение наиболее близкого значения вектора веса узла-нейрона ("нейрона-победителя") на карте; 4) определение количества ближайших соседних нейронов к нейрону-победителю; 5) непосредственное обучение сети, в ходе которого значения векторов веса нейрона-победителя и ближайших соседних нейронов постепенно меняются, приближаясь к значению векторов веса входных нейронов – данных наблюдений; 6) определение ошибки карты. Материалы и методы исследований: в качестве материалов исследований были использованы результаты измерений Ambientного эквивалента мощности дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения на территории исторического центра г. Харьков; обработка полученных данных проводилась методами SOM с помощью компьютерных программ MatLab 8.1 и STATISTICA 10. Результаты: в процессе 1000 циклов самообучения нейронной карты из 100 начальных активных нейронов, размещенных случайным образом на карте контролируемой местности, было получено 25 нейронных кластеров, координаты центров которых практически совпадали с координатами 25 точек наблюдений. Таким образом, была построена непрерывная карта радиационного фона на контролируемой территории. Точность карты была не хуже 0,25 мкР/час. Выводы: в работе доказана возможность применения метода самообучающихся нейронных карт (SOM) для построения непрерывной карты уровня экологических загрязнений на местности по результатам измерений значений некоторого абиотического фактора в конечном числе точек. Доказано, что данный метод является более точным по сравнению с методами регрессионной картографии и кластерного анализа, от которых он принципиально отличается. Возможности существенного улучшения точности метода заключаются в увеличении количества начальных нейронов на карте местности и количества итераций в процессе их обучения.

Ключевые слова: экологический мониторинг, рентгеновское и гамма-излучение, нейросетевые алгоритмы, самообучающиеся нейронные карты, SOM.

Наукове видання



ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 2(93)

Комп'ютерна обробка статей – О. О. Козіонова

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Opinions, statements, accuracy of the quotations, economic and statistical data, terminology, proper names and other information are made on the responsibility of 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, відповідної галузевої термінології, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 13,72. Наклад 300. Зам. № 221-10117.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Гл2.
Підписано до друку 30.06.2021

Видавець і виготовлювач
ВПЦ "Київський університет"
Б-р Тараса Шевченка 14, м. Київ, 01030
☎ (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.knu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02