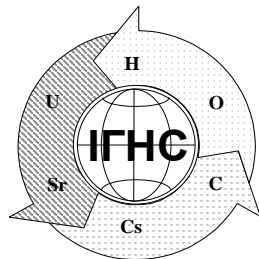


**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНА УСТАНОВА**  
**«ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НАН УКРАЇНИ»**

---



**ГЕОХІМІЯ ТЕХНОГЕНЕЗУ**

**випуск 3 (31)**

**ГЕОХИМИЯ ТЕХНОГЕНЕЗА**

**выпуск 3 (31)**

**GEOCHEMISTRY OF TECHNOGENESIS**

**Issue 3 (31)**

**Київ 2020**

ISSN (print) 2664-3936

ISSN (online) 2664-3944

**Редакційна колегія****Головний редактор** БЕЛЕВЦЕВ Р.Я. чл.-кор. НАНУ**Заступники головного редактора:**

БОНДАРЕНКО Г.М. д-р геол.-мін. наук

ВЕРХОВЦЕВ В.Г. д-р геол. наук

**Члени редколегії:**

ВІЛКОМІРСКИ Б.А. д-р біол. наук (Польща)

ДОЛІН В.В. д-р геол. наук

ШАБАЛІН Б.Г. д-р геол. наук

ШЕВЧЕНКО О.Л. д-р геол. наук

ПОКАЛЮК В.В. д-р геол. наук

ЗАБУЛОНОВ Ю.Л. чл.-кор. НАНУ, д-р техн. наук

ВЕНГЕР Є.Ф. чл.-кор. НАНУ, д-р фіз.-мат. наук

КРУЧИНІН С.П. д-р фіз.-мат. наук

РОДІОНОВ В.Є. д-р техн. наук

САЄНКО С.Ю. д-р техн. наук

ЛИТВИНЕНКО В.В. д-р техн. наук

ЧУМАЧЕНКО С.М. д-р техн. наук

ЯЦИШИН А.В. д-р техн. наук

ПОПОВ О.О. д-р техн. наук

ОЛЬХОВИК Ю.О. д-р техн. наук

МИХАЛЬЧЕНКО І.І. д-р геол. наук

**Відповідальний редактор:**

Сеvрук І.М.

**Наукові редактори:** Белевцев Р. Я., Бондаренко Г. М.**Адреса редакції**

Україна, МСП 03680, м. Київ-142, пр. Палладіна 34-А

(38-044) 423-81-35

e-mail: IGNS\_Rudenko@nas.gov.ua

**znp.igns.gov.ua**Редакційна підготовка до друку *Сорокотяга О.І.*Редактор-перекладач англійського тексту *Мицюк Н.Б.*Комп'ютерна верстка *Сеvрук І.М.*Дизайн обкладинки *Шмидко А.І.***EditorialBoard****Editor-in-Chif** R. BELEVTSSEV Cor. Member NASU**Deputies Editor-in-Chif:**

G. BONDARENKO D. Sc. (Geol.-Min.)

V. VERHOVTSEV D. Sc. (Geol.)

**Members of editorial board:**

B. Wilkomirski Prof. full science (Poland)

V. Dolin D. Sc. (Geol.)

B. Shabalin D. Sc. (Geol.)

O. Shevchenko D. Sc. (Geol.)

V. Pokalyuk D. Sc. (Geol.)

Yu. Zabulov. Cor. Member NASU, D. Sc. (Tech.)

Ye. Venher Cor. Member NASU, D. Sc. (Phys.-Mat.)

S. Kruchynin D.Sc. ( Phys.-Mat.)

V. Rodionov D. Sc. (Tech.)

S. Saienko D. Sc. (Tech.)

V. Lytvynenko D. Sc. (Tech.)

S. Chumachenko D. Sc. (Tech.)

A. Iatsyshyn D. Sc. (Tech.)

O. Popov D. Sc. (Tech.)

Yu. Olkhovik D. Sc. (Tech.)

I. Mykhalchenko D. Sc. (Geol.)

**Responsible editor:**

Sevruk I.M.

**Scientific editors:** R. Belevtsev, G. Bondarenko**Editorship Addresses**

Ukraine, MCP 03680, Kyiv-142, Palladin av. 34-A

(38-044) 423-81-35

e-mail: IGNS\_Rudenko@nas.gov.ua

Editorial preparation to printing *O. Sorokotiaha*Editor-translator of English text *N. Mitsuik*Computer make-up of *I. Sevruk*Cover design *A. Shmydko*

Збірник засновано у вересні 2000 року. Виходить 1-2 рази на рік.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації серія КВ №23941-13781 ПР від 26. 04. 2019 р  
Збірник представлений в розділі наукової періодики на сайті Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського як фахове видання в галузі геологічних і технічних наук

Друкується за постановою Вченої Ради ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

## З М І С Т

### **ГЕОЛОГІЧНІ НАУКИ**

- Яценко В.Г., Земсков Г.О., Лижаченко Н.М., Ніколаєвський В.П.** 5  
РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ПРИ РОЗРОБЦІ  
ЗАВАЛЛІВСЬКОГО РОДОВИЩА ГРАФІТУ
- Михальченко І.І., Андрєєв О.В., Покалюк В.В.** 16  
ПОЛЬОВІ ШПАТИ В РУДОНОСНИХ ЛУЖНИХ НАТРІЄВИХ МЕТАСОМАТИТАХ  
ПАРТИЗАНСЬКОГО РОДОВИЩА (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)
- Губіна В.Г., Заборовський В.С., Міцюк Н.Б.** 23  
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ УТВОРЕННЯ І НАКОПИЧЕННЯ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ ТА  
КРАЇНАХ ЄС
- Пігулевський П.Г., Подрезенко І.М., Анісімова Л.Б., Тяпкін О.К.** 33  
ДОСЛІДЖЕННЯ СУКУПНОСТІ ТЕХНОГЕННИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА  
ГІДРОГЕОХІМІЧНИЙ СТАН ТЕРИТОРІЇ ПІВДНЯ КРИВБАСУ
- Шевченко О.Л., Акінфієв Г.О.** 41  
ГЕНЕРАЛІЗАЦІЯ ЧИННИКІВ ЗАЛУЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ ДО ВОДНОЇ МІГРАЦІЇ
- Бондарь Ю.В., Кузенко С.В., Сливинский В.М.** 53  
НОВИЙ КОМПОЗИТНИЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ІОНООБМЕННОЇ СМОЛЫ С  
ФЕРРОЦИАНИДНОЇ ФАЗОЮ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ РАДІОНУКЛІДОВ  
ЦЕЗИЯ
- Ярошук М.А., Вайло А.В., Ганевич А.Е., Ноженко А.В.** 61  
ГЕОАКТИВНІ ЗОНИ – ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА ЕКОЛОГІЮ УРБАНИЗОВАНИХ  
ТЕРИТОРІЙ
- Семенюк М.П., Верховцев В.Г., Вайло О.В., Ганевич А.Є., Мельниченко Б.Ф., Кулібаба В.М.** 72  
ІНТЕГРАЛЬНО-ДІФЕРЕНЦІЙОВАНА ПАЛЕОГЕОДИНАМІКА НОВОУКРАЇНСЬКОГО  
ГРАНІТОГНЕЙСОВОГО КУПОЛА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА
- Кураєва І.В., Сплодитель А.О.** 79  
РОЗПОДІЛ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СИСТЕМІ «ГРУНТ-РОСЛИНА» В ЛАНДШАФТАХ  
ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЙ
- Яценко В.Г., Земсков Г.А.** 90  
«СТРАТЕГИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ» – ВЕДУЩИЙ ФАКТОР МИНЕРАЛЬНО-  
СЫРЬЕВОЙ ПОЛИТИКИ
- Шкапенко В.В., Бужук Л.О., Жолуденко О.О., Литвиненко Ю.В., Фоміна Т.В., Ващенко  
Н.М., Желяк О.Д.** 100  
ОБҐРУНТУВАННЯ ПОРОГОВИХ ЗНАЧЕНЬ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОД  
р. ПІВДЕННИЙ БУГ ЗГІДНО ВОДНОЇ РАМКОВОЇ ДИРЕКТИВИ ЄС
- Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Верховцев В.Г., Борисова Н.Н., Чупринова С.Ф.** 112  
КАРБОНАТЫ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ  
ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ЩИТА
- Стич О.І., Кураєва І.В., Кошлякова Т.О., Пастушак Я.І.** 123  
ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ОБ'ЄКТАХ ДОВКІЛЛЯ  
НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ПІРЯТИНСЬКИЙ»

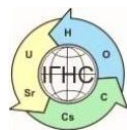
### **ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

- Магльована Т.В., Долін В.В.** 131  
КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ РАДІОАКТИВНО  
ЗАБРУДНЕНИХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ
- Забулонов Ю.Л., Чарний Д.В., Одукалець Л.А., Архипенко О.М., Пугач О.В., Стоколос М.О.** 143  
ЗМЕНШЕННЯ ОРГАНІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ТРАПНИХ ВОД АЕС ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАЗМИ  
БАР'ЄРНОГО РОЗРЯДУ
- ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ 149

# CONTENTS

## *GEOLOGICAL SCIENCES*

<b>Yatsenko V., Zaborovska L., Zemskov G., Lyzhachenko N., Nikolaevsky V.</b> RATIONAL USING OF RAW MATERIALS DURING EXPLOITATION OF THE ZAVALIEVSKY GRAPHITE DEPOSIT	5
<b>Mihalchenko I., Andreev A., Pokalyuk V.</b> FELDSPARS IN THE ORE BEARING ALKALINE SODIUM METASOMATITES OF THE PARTIZAN DEPOSIT (UKRAINIAN SHIELD)	16
<b>Gubina V., Zaborovskiy V., Mitsiuk N.</b> COMPARATIVE ANALYSIS OF WASTE GENERATION AND ACCUMULATION IN UKRAINE AND EU	23
<b>Pigulevskiy P., Podrezenko I., Anisimova L., Tyapkin O.</b> RESEARCH OF COMPLIANCE OF TECHNOGENIC FACTORS AFFECTING THE HYDROGEOCHEMICAL STATE OF THE TERRITORY OF THE SOUTH OF KRIVBAS	33
<b>Shevchenko O., Akinfiyev G.</b> GENERALIZATION OF FACTORS FOR THE INVOLVEMENT OF RADIONUCLIDES IN WATER MIGRATION	41
<b>Bondar Yu., Kuzenko S., Slyvinsky V.</b> NOVEL COMPOSITE ADSORBENT BASED ON ION EXCHANGE RESIN WITH FERROCYANIDE PHASE FOR SELECTIVE REMOVAL OF CESIUM RADIONUCLIDES.	53
<b>Yaroshchuk M., Vaylo A., Ganevich A., Nozhenko O.</b> GEOACTIVE ZONES – A FACTOR OF INFLUENCE ON THE ECOLOGY OF URBANIZED TERRITORIES	61
<b>Semenyuk N., Verkhovtsev V., Vaylo A., Ganevich A., Kulibaba V.</b> INTEGRAL-DIFFERENTIATED PALEOGEODYNAMICS OF THE NEW UKRAINIAN GRANITE-GNEISS DOME OF THE UKRAINIAN SHIELD	72
<b>Kuraeva I., Splodytel A.</b> DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE «SOIL-PLANT» SYSTEM IN THE LANDSCAPES OF NATURE CONSERVATION AREAS	79
<b>Yatsenko V., Zemskov G.</b> "STRATEGIC MINERAL RESOURCES" - THE LEADING FACTOR OF MINERAL RESOURCES POLICY.	90
<b>Shkapenko V., Buzhuk L., Zoludenko O., Litvinenko U., Fomina T., Vashchenko N., Zelak O.</b> SUBSTANTIATION OF THRESHOLD VALUES OF HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE PIVDENNYI BUKH RIVER WATER QUALITY ACCORDING TO THE EU WATER FRAMEWORK DIRECTIVE	100
<b>Fomin Yu., Demikhov Yu., Verkhovtsev V., Borisova N., Chuprinova S.</b> CARBONATES OF ORE DEPOSITS OF PRECAMBRIAN OF THE CENTRAL PART OF THE UKRAINIAN SHIELD	112
<b>Stych O., Kuraeva I., Koshliakova T., Pastushchak Ya.</b> PATTERNS OF MICROELEMENTS DISTRIBUTION IN ENVIRONMENTAL OBJECTS OF PYRIATYNSKYI NATIONAL PARK	123
<b>TECHNICAL SCIENCES</b>	
<b>Maglyovana T., Dolin V.</b> KEY ISSUES FOR ECOLOGICAL MANAGEMENT OF RADIOACTIVE CONTAMINATED FOREST ECOSYSTEMS IN UKRAINE.	131
<b>Zabulonov Yu., Charnyy D., Odukalets L., Arhipenko A., Pugach A., Stokolos N., Tishchenko I.</b> DECREASE OF ORGANIC COMPONENT OF APPROACH WATERWAYS BY AUXILIARY BARRIER DISPLAY PLASMA	143
INFORMATION FOR AUTHORS	149



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.005>  
УДК 553.04-553.69 (477)

**Yatsenko V.G., Zaborovska L.P., Zemskov G.O., Lyzhachenko N.M., Nikolaevskiy V.P.**

**Yatsenko V.G.**, Ph.D. (Geol), Leading Researcher, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", vgyatsenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8113-5702>

**Zaborovska L.P.**, Ph.D. (Geol), Researcher, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", zaborovskayalp63@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7848-5528>

**Zemskov G.O.**, Researcher, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", zemskov-gennadii2020@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7445-5329>

**Lyzhachenko N.M.**, Ph.D. (Geol), Senior Researcher, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine", albeet@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8598-0551>

**Nikolaevskiy V.P.**, Chief geologist, Private joint stock company "Zavalivskiy Graphite Plant", nvp49ktv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3180-3036>

## **RATIONAL USING OF RAW MATERIALS DURING EXPLOITATION OF THE ZAVALIEVSKY GRAPHITE DEPOSIT**

*Based on the analysis of the Zavalivskiy graphite deposit exploitation prospects, the article outlines the ways of rational development and integrated use of its raw materials, which include transition to the underground and combined extraction of the graphite ores, improvement of the enrichment schemes, expanding of the range of the Zavalivskiy graphite plant's production, use of the spent quarry for overburden and tailings dumping. An important component of the rational exploitation of the Zavalivskiy graphite deposit is the integrated use of its raw materials: (1) the deposit is the only one in Ukraine which mines pomegranate ores, which have good prospects nowadays; in terms of the technical characteristics, the pomegranate concentrate from Zavalivskiy graphite deposit is not inferior to that from other world producers; (2) the plant does not use all possible amount of the overburden rock formations for building-stone production; (3) the overburden sands, clays and loam have high technological characteristics and the economic feasibility study of their selective development should be envisaged; (4) graphite ore flotation tailings need further study to be used in the building and glass industries; (5) use of mineral pigments (ocher, seladonite) is possible after selective extraction, special separate storage and development of an enrichment and preparation technology; (6) jasper, chalcedony and opal specimens from Zavalivskiy graphite deposit have high decorative, textural and consumer characteristics and are suitable for production of various jewellery and decorative items; (7) among the host rocks of Zavalivskiy graphite deposit there are veins of unique, rare mineral – grautite; also mineralogically interesting is the presence of barite, horsex, pyrite, galena, coarse-grained graphite clusters, etc. Selling of these specimens as collectibles and organization of mineralogical excursions can also give some economic effect. The introduction of rational methods of development and integrated use of Zavalivskiy graphite deposit will make this object strategically important for the economy of Ukraine.*

**Key words:** Ukrainian shield, Zavalivskiy graphite deposit, graphite ore, rational development of the deposit, integrated use of mineral resources.

### **Introduction.**

Scientifically substantiated rational mineral resources usage is based on the ideas of V.I. Vernadsky and A.E. Fersman [13, 14]. At present, the problem of integrated full-field development and rational use of mineral resources has not lost its significance, but gained its importance in terms of the enormous extraction and consumption of mineral resources. Formation of an effective system of subsurface use based on the integrated development and usage of the entire complex of subsoil resources, application of low-waste resource-saving technologies, cleaner production approach and competitiveness of the mineral resource complex production is a complicated scientific and technological task.

The main way of the rational use of mineral resources as raw materials and energy sources is to improve the production methods to increase their extraction from earth bowels during deposit exploitation, reduce waste during production and mineral processing, and completely utilize all useful components.

A complex use of raw materials is obviously a part of rational exploitation of deposits [20]. The optimal utilization of mineral resources envisages, on the one hand, detailed study during exploration of the deposits, additional exploration and exploitation, and selection of rational schemes for the most complete extraction of the useful components during mining and mineral processing, on the other hand, it requires complex use of mineral raw mate-

rials. In addition to extraction of all industrially valuable components from raw materials, their complex use requires utilization of the aggregate-mineralogical base of ores, that is, host and overburden rocks, as well as residual products formed during the mineral processing of raw materials – mining wastes. The volumes of loose and rocky materials, extracted during the underground or quarry mining of raw materials, annually exceed millions of tons in Ukraine alone [17, 21, 29].

Today, graphite is an important industrial raw material for many countries of the world. The United States, China and the European Union classify this mineral as a strategically important one. China producing the major quantity of graphite in the world has set a 20% export tax (plus 17% VAT) for the export of minerals from the country. Besides, China has established an export licensing system to reduce the raw materials export and thereby more efficiently provide its own industry.

Ukraine occupying one of the leading places in the world in terms of the total graphite reserves has now found itself in a difficult position because of the deficiency of crystalline graphite and its products. Graphite mining at the only developed Zavalivskiy deposit has sharply decreased in recent years. Zavalivskiy Graphite Plant having a design capacity of 50-60 thousand tons of graphite per year at present produces no more than 10-12 thousand tons of graphite concentrate.

The guidelines for the graphite industry development in Ukraine are outlined in the "National Program for the Development of the Mineral Resources Base of Ukraine for the Period until 2030". According to this program, the priority tasks are: to find active graphite reserves in the territory of the Ukrainian graphite-bearing province [28], to undertake assessment of the already found perspective areas and to modernize production at the Zavalivskiy graphite plant.

**The aim of the work** is to analyze the prospects for the use of the entire resource base of the Zavalivskiy graphite deposit, to consider ways of its rational development and integrated use of the raw materials.

**Geological setting.** The Zavalivskiy graphite deposit is located in the southwest of the Kirovograd region, near the town of Zavallia (Gaivoronskiy district), on both banks of the river Southern Buh.

The geological structure of the region is characterized by the presence of two distinct structural floors: the lower one, composed of intensely dislocated crystalline rocks and their weathering products, and the upper one, represented by almost horizontally lying rocks of the sedimentary cover. The rocks of the basement belong to the Archean and Paleoproterozoic. Sedimentary formations are represented by Neogene and Quaternary sediments.

In tectonic terms, the area of the Zavalivskiy graphite deposit is located within the southeastern part of the Ukrainian shield and is confined to the western border of the Holovanivskiy suture zone. The largest folded structures of the crystalline basement of the area are the Bandurivskiy and Pervomaisk-Holovanivskiy anticlinorias, separated by the Synytsivskiy syncline. The anticlinorias in the gravitational field correspond to significant anomalies of gravity in size and intensity.

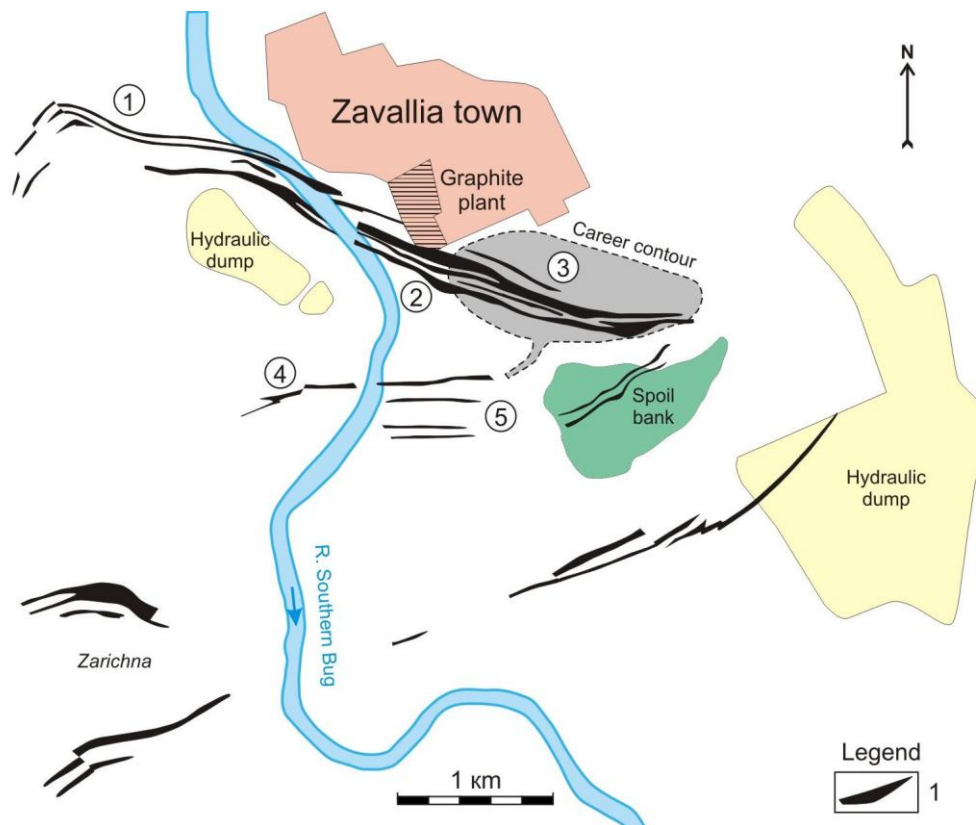
Zavalivskiy graphite deposit is located at the junction of the Bandurivskiy and Synytsivskiy structures and is confined to the wings of a large synclinal folded structure of the second order that is a part of the Khashchevo-Zavalivskiy synclinorium. Within the deposit, the rocks form a synclinal fold of a sub-latitudinal strike with a length of 5 km and a width of up to 2 km, located in a field of migmatites and granites. The structure core is composed of carbonate rocks (calciphyres). The middle part is composed of biotite-graphite and biotite-garnet gneisses and quartzites and is a productive companion for graphite ores. The outer part of the southern wing of the structure is composed of biotite, amphibolite and pyroxene gneisses, which are converted into charnockites in the northern wing.

The graphite deposit is located in both wings of the syncline, forming two zones (Northern and Southern) of ore-bearing graphite-containing gneisses. The deposit's main part is located within the Northern wing of the syncline. The total length of the Northern ore zone is 3.7 km, and the thickness is from 150 to 390 m.

There are six ore areas within the deposit field: Northern ore zone – Pivdenno-Skhidna, Promizhna and Khutir Andriyivka areas, Southern ore zone – Pravoberezhna, Pivdenna polosa areas (Fig. 1, Table 1).

The ore zone is a rhythmic interbedding of quartzites, biotite-graphite and biotite-garnet gneisses, garnet-quartz skarnoids, as well as (to a lesser extent) sillimanite gneisses and calciphyres. All lithological varieties form laminate and lenticular bodies with thickening and pinching. The total strike of the ore zone is 290-300 °, its dip is almost vertical. Graphite is present in all rocks of the ore zone up to 1-2%, in biotite-graphite gneisses (graphite ores) its content varies from 1-3 to 24%.

The ancient weathering crust of areal and linear types is widespread in the deposit field. The weathering crust is developed everywhere, its thickness varies from 2 to 30 m. The linear weathering crust is confined to gneiss bodies and zones of discontinuous tectonic disturbances. The depth of development of the linear weathering crust is 100-150 m, but it exceeds 200 m in the Khutir Andriyivka area.



**Fig. 1.** Localization scheme of graphite-bearing areas of the Zavalivskyi graphite deposit: 1 – graphite ore bodies; numbers in circles – graphite-bearing areas: 1 – Khutir Andriyivka, 2 – Promizhna, 3 – Pivdenno-Skhidna, 4 – Pravoberezhna, 5 – Pivdenna polosa, 6 – Zarichna

**Рис. 1.** Схема локалізації графітоносних ділянок Заваллівського родовища: 1 – графітові рудні тіла; цифри в кружках – графітоносні ділянки: 1 – Хутір Андріївка, 2 – Проміжна, 3 – Південно-Східна, 4 – Правобережна, 5 – Південна полоса, 6 – Зарічна

The main raw material for the production of crystalline graphite is biotite-graphite gneisses, less used are biotite-garnet-graphite and sillimanite-garnet-graphite gneisses.

Depending on the degree of manifestation of hypergenic processes, three technological types of graphite ores are distinguished, which differ in material composition and physical and mechanical parameters:

- loose ores corresponding to the kaolinite and kaolinite-hydromica zones of the weathering crust;
- semi-loose ores corresponding to the disintegration zone;
- dense ores corresponding to gneisses that have not undergone weathering.

The boundaries between the types of ores are fuzzy and are not sustained hypsometrically.

Graphite in dense ores is typically metamorphic mineral; in loose and semi-loose ones, it belongs to residual (that remained after weathering) formations. Graphite is clearly crystalline, represented by a scaly variety with the flakes size of up to 10 mm. In dense ores, graphite is

found in intergrowths with rock-forming minerals. Contacts between different types of ores are gradual.

The graphite content in the Northern ore zone varies from 4-6.5% (Pivdenno-Skhidna, Promizhna areas) to 10-12% (Khutir Andriyivka area), in the Southern ore zone – 6.6-7.5%. The average graphite content in the ore at the whole deposit is 6.86%. The distribution of graphite in the ore is mainly uniform; the scales of graphite are oriented according to gneissic banding. The ore bodies have a complex morphology and cannot always be traced along the profiles relative to each other.

At the Khutir Andriyivka area, 3 ore bodies of sub-latitudinal strike were found; ore bodies thickness is from 18 to 80 m, length ~500 m. The average graphite content in the ore is 9.8%. The ore bodies are traced to a depth of 100-130 m. The intra-ore layers have a thickness of 15 to 30 m and are represented by quartzites, garnet gneisses and skarns.

Promizhna area is located in the northern strip of graphite rocks. The rocks strike is northwest, the ore bodies dip is subvertical (from 75 ° to 90 °); in some cases, ore bodies bends along the dip and along the strike are observed. The ore-bearing stratum is an alternation of

biotite-graphite and biotite-garnet gneisses with skarnoids, limestones and quartzites. The ore-bearing stratum thickness is 300–350 m. Industrial graphite concentrations are confined to the kaolinized and chloritized gneisses. Graphite is present as needle crystal aggregates or flake clusters from 0.1 to 1 mm in size. Ore bodies are called graphite-bearing gneiss layers and packs. The ore bodies thickness varies from 1–2 to 25.2 m.; their length varies from several tens of meters to 1.4 km. All bodies are subparallel, stratiform or, less commonly, lenticular in shape. Their thickness is unstable and they are separated by interlayers of various thicknesses and lenses of barren rocks. The ore bodies are often wedged out, connected to each other or bifurcated, as a result of which the number of ore bodies varies from 4 to 8. The ore bodies total thickness along exploration lines varies from 50 to 300 m, and the total thickness of intra-ore layers varies from 4 to 50 m. Traced inside the ore-bearing stratum, the skarnoid bodies have the same morphology as the ore bodies. The skarnoid bodies thickness ranges from 4 to 28 m in the west of the site and from 1 to 24 m in the east. The number of skarnoid bodies varies from 4 to 6. The average carbon content in the ore is 6.12% [26, 28].

Pivdenno-Skhidna area is characterized by the presence of 14 ore bodies of various thicknesses and lengths. All of them were opened by the current quarry and a significant part of them was worked down the dip to 30–130 m. All ore bodies lie subparallel, have a dip at high angle, a stratiform shape, variable thickness and morphology, and they are separated by interlayers of gneisses, skarns, and quartzites. The total thickness of ore bodies along exploration lines is from 25 to 190 m, the total thickness of barren interlayers is from 13 to 70 m. The average carbon content in the ore is 6.26%.

Pivdenna polosa area is located in the southern wing of the Zavalivskiy synclinal structure. The geological structure and ore content in the area are significantly different from Promizhna and Pivdenno-Skhidna areas. The total thickness of the ore-bearing stratum ranges from 60 to 160 m. There are up to 8 ore bodies within the area, however, the main reserves of graphite ore are concentrated within the ore body, which is closest to carbonate rocks. The ore-bearing stratum is oriented mainly along the azimuth of 60°. The main features of the ore area are: the small thickness of the ore bodies, their simple structure, the prevalence of amphibole-containing rocks among the host ones. The total length of the ore-bearing stratum is 1450 m. The thickness of the ore bodies varies from 3 to 20 m. The average graphite content in the area is 6.75%. The ore content coefficient reaches 0.97.

Pravoberezhna area is characterized by a presence of the only ore body, the strike of which varies along the azimuth of 55° - 82°. The ore body has a stratiform shape and sub-concordant bedding with the host rocks.

The total length of the ore body is more than 1000 m.; its thickness along the strike varies from 16 to 34 m. The dip in the northern rhambes is 80° - 85°. The graphite average content in the ore is 6.59%.

Zarichna area is one of the ore-bearing strata of the Zavalivskiy graphite deposit. The ore-bearing stratum adjoins to the lower horizon of graphite gneisses of the Lower Proterozoic Khashchevo-Zavalivskiy suite. The ore body is an ore-bearing stratum with the thickness of 80–120 m, and the length of 550 m. It lies sub-concordantly with the host gneisses and pegmatites, and has a high-angle dip (75° - 80°) to the North. The ores are represented mainly by biotite-graphite gneisses, the less common are graphite-garnet ones. Areal and linear weathering crusts are above ore-bearing stratum. The thickness of the areal weathering crust ranges from 10 to 50 m, the thickness of the linear one along the tectonic faults reaches 200–250 m and more. In the northern part of the Zarichna area, there are several transverse tectonic disturbances that cut off the ore-bearing stratum in the East and West. The graphite average content in the ore is 5.3%

At the Zavalivskiy deposit, ore bodies displacement despite tectonic influences is practically not manifested, however, the complex morphology of the ore bodies and the variability of their thickness makes it possible to equate the ore deposit to a tectonically disturbed one. Based on the “National classification of reserves and resources of minerals of Ukraine”, according to the degree of complexity of the geological structure, the field is assigned to deposits of complex geological structure.

**The current deposit exploitation.** Currently, the development of the Zavalivskiy graphite deposit is carried out by quarrying. Most of the industrial reserves of graphite are located in pillars under the Southern Buh River floodplain, the Processing Plant and Zavallia town. For further quarrying, it is necessary to construct a dam and a river channel, to transfer the working Processing Plant and to alienate 400 hectares of land. According to preliminary estimates, the total cost of these works significantly exceeds the cost of the transition to underground graphite mining. In this regard, it is planned to develop the deposit in a combined way, that is, completion of the quarrying and the transition to underground mining.

The presence of the quarry in the north in the Pivdenno-Skhidna area adjacent to the Promizhna area makes it expedient to conduct further development of the deposit in a combined way: the completion of the field in the Pivdenno-Skhidna area to the level of 19 m by quarrying and the transition to the underground mining method in the Promizhna area.

For the transition to underground mining, it is necessary to select opening schemes and methods for preparing the mine field, transporting ore and overburden rocks,



mine ventilation and environmental protection, justifying the possibility of filling the worked-out space chambers with enrichment tailings [1]. Given the conditions of ore bodies bedding and the relief, it is advisable to use one of the two main options for opening the Zavalivskiy deposit in the Promizhna area:

1. An inclined barrel and four adits traversed from the southwestern side of the quarry.
2. Three vertical trunks and four adits.

Further mining operations at the Zavalivskiy graphite deposit in a combined way, that is, refinement of the quarry and transition to underground mining, will ensure uninterrupted supply of the main consumers with graphite, preservation of employment of the population and the maximum possible preservation of the ecological balance of the region.

**Tabl. 1.** Mineral reserves on the Zavalivskiy graphite deposit

**Табл. 1.** Балансові запаси корисних копалин по Заваллівському родовищу графіту

Area	Mineral reserves				
	Graphite ore graphite, thousand t	Overburden rock, thousand m <sup>3</sup>	Garnet ore garnet, thousand t	Clay, loam million m <sup>3</sup>	Black earth, thousand m <sup>3</sup>
Khutor Andriyivka	<u>6305</u> 597				
Promizhna	<u>41300,9</u> 2546,0	70705	<u>16300</u> 2808		
Pivdenno-Skhidna	<u>22594,3</u> 1481,8	52722,2	<u>4014,5</u> 615,5		
Pravoberezhna	<u>5177</u> 322,9	6032			
Pivdenna polosa	<u>5028,1</u> 310				
Zarichna	<u>18949,6</u> 1052,2	33962			
All over the field	<u>99354,9</u> 6309,8	163421,2	<u>20314,5</u> 3423,8	2,0	
In addition, in a special dump			<u>1739,2</u> 271,8		19,0

**Rational deposit exploitation.** The rational exploitation of the Zavalivskiy graphite deposit involves:

1. Transition to underground and combined production of graphite ores, which will increase the volume of active reserves of Zavalivskiy deposit graphite ores available for mining, without environmental degradation of production;

2. Improvement of the graphite mineral processing schemes at the Zavalivskiy mineral processing plant that will allow significant reduction of the raw materials loss, and use of flotation mineral processing tailings that contain significant additional graphite volumes;

3. Increasing of the assortment of the plant's graphite products using the technical innovations, which will improve its competitiveness;

4. Creation, in addition to the Zavalivskiy deposit exploitation, of a network of subsidiary small and medium-sized enterprises, where graphite mineral will be processed close to the place of graphite ore extraction. Such enterprises produce 85% of graphite in the world.

5. Use of the former quarry of the Pivdenno-Skhidna area for the storage (disposal) of overburden dumps and mineral processing tailings.

6. Integrated use of raw materials.

One of the most important components of the rational development of the Zavalivskiy graphite deposit is the integrated usage of its raw materials.

**Integrated using of raw materials.** At present, in the Zavalivskiy graphite deposit, in addition to graphite, quarry stone is mined. There are also reserves of garnet raw materials and a number of other minerals. Thus, the deposit is considered as a complex facility, the raw material potential of which is far from exhausted [15].

*Building stone (crystalline rocks).* At present, in the Zavalivskiy graphite deposit only rocky overburden rocks as associated minerals are quarried. They are represented by carbonate-silicate (calciphyres, skarnoids, dolomitic rocks) and silicate (charnockites, migmatites, gneisses, quartzites) rocks, which occur in the form of large enough

massifs (charnockites, calciphyres) or stratiform bodies of predominantly sub-latitudinal strike and a high-angle dip (sub-vertical), interbedded with ore bodies. Of many varieties of crystalline rocks, homogeneous strata of calciphyres (Buh series) and migmatite-charnockitoids (Pobuzh ultrametamorphic complex) are of practical interest as building stone. Among these rocks, non-weathered and slightly weathered differences are distinguished by the degree of surface weathering. Calciphyres are the most common group of carbonate rocks. Within the Pivdenno-Skhidna area, they border the strata of graphite rocks on the southern flank and form the central part of the Zavalivskiy structure. Together with calcifiers, with gradual transitions, small lenses of calcite-dolomite marble lie. The stratum thickness in the central part is 1500-1800 m, in the eastern part it decreases sharply to 50 m.

Charnokitoids (charnockite-migmatites and enderbit-migmatites) occur in the northern and north-eastern part of the Pivdenno-Skhidna area.

Skarnoids, calciphyres, quartzites, biotite-garnet gneisses lying in the ore zone between graphite gneisses can also be used as raw materials for rubble and crushed stone.

Laboratory examination (mineralogical, physical-mechanical, petrographic, etc.) of overburden rock samples determined the possibility of using non-weathered and slightly weathered rocks for building industry – for rubble and crushed stone production.

In the Zavalivskiy graphite deposit, the building stone total reserves, which were calculated for four areas (Promizhna, Pravoberezhna, Zarichna and Pivdenno-Skhidna), reach over 160 million m<sup>3</sup> (Table 1). The existing production of crushed stone from the Zavalivskiy deposit rocks has a capacity of 60 thousand m<sup>3</sup> / year.

In addition to the building stone rocks from the Zavalivskiy deposit, in the region there are enterprises for production of crushed and buta stone – "Gayvoronsky special quarry" and LLP "Charnokity", which have significant open reserves of high-quality rock and the necessary development infrastructure.

*Garnet.* In the productive stratum of the deposit, along with biotite-graphite gneisses, biotite-garnet gneisses are widespread. They have been studied and evaluated as a source of abrasive garnet. Garnet-biotite gneisses are developed in the ore zone in the form of lens strips (up to 1 km long, from 1-2 to 100 m thick), often of complex configuration; they contact with graphite gneisses, charnockites and skarnoids. The garnet content in the ore ranges from 6 to 300 kg / t (average 167 kg / t). Reserves of biotite-garnet gneisses (for abrasive) in the Zavalivskiy graphite deposit are estimated at 26.8 million tons. Besides at present 1740 thousand tons of garnet ore (Table 1) are stored in a special storage on the territory of the

Zavalivskiy deposit, with the beneficiation of which 267 thousand tons of garnet concentrate can be produced.

Garnet is an essential mineral for industrial production in the advanced countries of the world. According to US Geological Survey (USGS), total world industrial garnet production was estimated to be about 1.2 Mt in 2019. The leading global producers were Australia, 400,000 t; China, 310,000 t; South Africa, 190,000 t; India, 150,000 t; the United States, 93,000 t; and other countries, 60,000 t. Russia and Turkey have mined garnet in recent years, and small garnet-mining operations are also located in Canada, Chile, Czechia, Pakistan, South Africa, Spain, Thailand.

Modern industries that consume garnet include aircraft and motor vehicle manufacturers, ceramics and glass producers, electronic component manufacturers, glass polishing, the petroleum industry, shipbuilding and maintenance, structural steel fabrication and maintenance, textile stonewashing, water filtration plants, and wood-furniture-finishing operations. For instance, major end users of garnet in the United States in 2017 were estimated to be abrasive blasting (50%), water-jet cutting (35%), and water filtration media (10%), with the remainder used as abrasive powders, as an additive in nonslip coatings, in sandpaper, etc.

Most industrial garnet is used as an abrasive because of its hardness, which ranges from 6 to 7.5 on the Mohs scale. High-quality, high-value garnet grain has been used principally for such applications as optical lens grinding and plate-glass grinding for more than a century. In recent years, industrial garnet powders have been used for high-quality, scratch-free lapping of semiconductor materials and other metals. Garnet is a good alternative to silica sand as a natural abrasive blasting media because it does not have the health risks associated with the inhalation of airborne crystalline silica dust, and it is a safer abrasive for the environment.

Petroleum industry is one of the leading garnet-consuming industries, using garnet for cleaning drill pipes and well casings. Oil and gas producers also use garnet as reservoir-fracturing proppant.

The aircraft manufacturing and shipbuilding industries use garnet for blast cleaning and for finishing metal surfaces. Similar uses include the cleaning and conditioning of aluminum and other soft metals, as well as metal cleaning by structural steel fabrication shops. Garnet entrained in high-pressure streams of water also is used to cut many different materials. Garnet powders are used for antiskid surfaces, antislip paints, and glass and ceramic polishes.

Water-jet cutting is the process combining water under ultrahigh pressure with entrained abrasive grit to cut a wide variety of materials. Materials cut using this process range from soft leather and fabric to hard steel, titanium, and other metals. Water-jet cutting makes it possible to

carve extremely complex shapes with computer-assisted cutter control. Almandine-pyrope garnet is excellent for this application because it strikes the necessary balance between cutting productivity and equipment wear. The use of abrasives for water-jet cutting began to develop slowly in the late 1980s and early 1990s, and it has grown at a faster rate in the past 20 years. Future growth is expected to remain steady as use of this technology expands in existing areas and enters new applications. Garnet materials most preferred for water-jet-cutting applications remained in tight supply.

Low-quality industrial garnet, which has lower hardness and is more highly fractured, is used as a high-density medium in water filtration systems because of its relative inertness and resistance to chemical degradation. Garnet is well suited for water filtration and treatment because it is relatively heavy and chemically stable.

Ukraine has one of the most powerful raw material bases of garnets in former USSR countries and Europe [4, 12]. Garnets reserves have been explored at a number of sites in the Kirovograd (Zavalivskiy graphite deposit with associated garnets reserves) and Vinnytsia (Slobidske granite deposit with associated garnets reserves) regions. Significant volumes of garnet raw materials can be mined as a by-product during the exploitation of Kryvyi Rih iron ore deposits [2, 11, 25].

At present garnet raw materials in Ukraine are not mined. The country's own needs for garnet concentrate are satisfied mainly with exported raw materials from the Czech Republic, Australia and India, although research results indicate that Ukrainian garnets are a promising abrasive raw material; in their technical properties they are not inferior to garnets from world producers and are competitive in the world market [7, 9, 18].

Garnet raw materials of Zavalivskiy graphite deposit have great prospects. In mineralogical terms, the concentrate of the Zavalivskiy deposit is: almandine (over 90%), individual pyrope grains, grossular, quartz in splices (2-3%), hornblende (1-2%). The garnet abrasive hardness is from 6.5 to 7.5 on the Mohs scale. According to industry requirements, fracturing is one of the important physical and mechanical properties of garnet. A study of the garnet fractures from the concentrate of the Zavalivskiy graphite deposit shows that it is characterized by low values of fracturing (0.550-0.590 mm<sup>-1</sup>), which indicates the high quality of the garnet concentrate by this indicator [7].

In addition, imported garnet concentrates may be of low quality, in particular, in terms of radioactivity, due to the presence in the concentrates of poorly recoverable radioactive impurities, primarily, thorium-bearing monazite, zircon (malachite) and apatite. Garnet-bearing rocks in the Zavalivskiy deposit are garnet-biotite gneisses characterized by a low content of radioactive minerals, which leads to the production of a pure (in terms of radio-

activity) garnet concentrate without laborious and expensive post-treatment operations [7].

Thus, based on the level of garnet ore reserves and the possibility of establishing industrial production of high-quality garnet concentrate, the Zavalivskiy graphite deposit is capable of providing Ukraine with its own high-quality garnet raw materials for various purposes, that serves Ukraine's national interests.

*Clays and loams.* The bulk of overburden rocks in the Zavalivskiy graphite deposit are clay rocks, which are represented by Neogene clays and Quaternary loams. Macroscopically, bottom up the geological section, the following varieties can be distinguished [1]:

- greenish-grey and grey, viscous, dense, plastic clay (Baltic age, Neogene). The layer thickness – 0.5-6.5 m. The clay is distributed in the Pivdenno-Skhidna area;

- red-brown and brown clay, overlapping the Baltic one almost everywhere. The clay is sandy, viscous, containing carbonate cohesions. The layer thickness – 1-20 m;

- red-brown and brown loams (Lower-, Mid-Quaternary Age), dense, with limestone screed. The layer thickness – 13-188 m;

- pale yellow, microporous, carbonaceous and with small calcareous cohesions, loess-like loams (Upper Quaternary). The layer thickness – 3-12 m.

All of these varieties belong to low-melting, less – to refractory raw materials with an average and low content of carbonates. According to the results of loam tests, they can be used as raw materials for brick production. The bricks of light terracotta colour (grades – 100, 125, 150) were made by the method of plastic molding. Loams can be used in the production of ceramic materials as an additive or as the main raw material (with additives of other components) for the production of expanded clay. Almost all varieties of clay raw materials can be used for production, including the reconstruction of hydraulic structures and road construction. The total loam reserves are over 2 million m<sup>3</sup>.

Thus, the results of a study of the technological properties of overburden clay rocks in the Zavalivskiy graphite deposit corroborate a high quality of products from this raw material and low cost, given their associated mining during the graphite ore mining.

*Sands.* In the Zavalivskiy graphite deposit, sands in the form of lenses (thickness – 1-10 m) are widespread among the rocks of the Baltic suite of the Neogene age and Quaternary sediments. In addition, a significant amount of sand mass (more than 50 million tons) is concentrated in technogenic waste from flotation processing of graphite ore. The sands are fine-grained, with a large admixture of clay material. Studies, conducted in 1982 year, did not reveal ways of their economically attractive usage. Today, it will be appropriate to test the

sands in accordance with the new regulatory requirements. The sands can be used as the basis or component of mixtures in the road construction, as ballast material for landscaping and planning works, as a fine concrete filler (heavy, light, fine-grained, special-purpose and other concretes), for mortar, dry mixes, filler and component for the silicate concrete production of dense structure, autoclaved and autoclave-free cellular concrete, silicate bricks, stones, pressed products, etc.

*Mineral pigments.* The prospects for the economic use of certain types of overburden rocks of the Zavalivskiy graphite deposit as natural pigments are currently insufficiently researched. At the Khutir Andriyivka area, during geological exploration and subsequent development, the weathering crust of ferruginous quartzites of ocher-red colour was revealed. Within the Northern ore zone, in the quarry, a number of areas with clay-micaceous, siliceous-seladonite rocks of grey-green and green colour have been identified. Preliminary laboratory studies have shown satisfactory qualitative characteristics of these natural pigments. The possibility of their use for the manufacture of dark-water emulsion paints was established. This implies the selective extraction of these rocks, their special separate storage and development of technology for their mineral processing.

*Coloured stones.* In the Zavalivskiy graphite deposit, epigenetic low-temperature processes are widely manifested – chloritization, kaolinization (argillization), opalization, silicification, pyritization, limonitization. Currently, there is evidence that these processes are not only due to the development of an extensive linear and areal weathering crust, but also are a consequence of superimposed hydrothermal processes that were manifested at the final stages of the development of the Zavalivskiy structure [5, 26, 28]. Intensive “weathering” is due to the permeability of the zone for solutions and the nonequilibrium nature of the rocks, accumulated in it [30]. As a result, a peculiar complex of rocks and minerals was formed in local areas of intensive hydrothermal processing and weathering of gneisses, skarnoids and calciphers, which are of interest both as raw materials for jewellery making and as valuable collectible mineralogical material. This decorative raw material is represented by jasper and agate.

The manifestations of jasper in the Zavalivskiy graphite deposit are confined to discontinuous disturbances, according to which extensive weathering crusts of a linear and areal type were formed [23, 24].

Most of the jasper rocks formed in the linear weathering crust are confined to the kaolinite and kaolinite-chlorite-hydromica type of this weathering crust, which develops by biotite-graphite and biotite-garnet gneisses. Jasper is found in the form of veins, veinlets and lenses with a thickness of 5-40, sometimes up to 80 cm or more.

The colour of jasper is mainly greenish-brown and white-brown-green. The mineral composition of jasper: chalcedony (80-95%), quartzine (up to 10%), iron hydroxide (2-5%), celadonite (1-2%). In the linear weathering crust, highly decorative jasper was predominantly formed with spherulitic and spherulitic-streaky textures. Colour is mainly brown-yellow-green, dark green, white-yellow-brown and other. Jasper is well processed and requires a mirror polish. Based on the size and colour of the jasper samples, it can be used both for the jewellery manufacture (cabochons, inserts, beads, etc.), decorative products (balls, eggs, pyramids, table decorations), and as a collection material.

The second type of jasper is associated with the area weathering crust, which was formed by calciphyses. Such jasper is found in the form of streaks of siliceous-ferrous composition with a thickness of 1 to 10 cm. Fantastic and streaked-interspersed texture patterns prevail in the jasper of the areal weathering crust. The colour of jasper is mostly brown, tan. Like the jasper from the linear weathering crust, the jasper from the areal weathering crust lends itself well to processing and takes a mirror polish. This jasper can be used for the manufacture of cabochons, various inserts, as collection samples, less often for the manufacture of small items [3, 19, 27].

Thus, jasper of the Zavalivskiy graphite deposit has a high texture and decorative characteristics (nice colour and texture pattern, significant sample size) and is well processed. Due to this, jasper of the Zavalivskiy graphite deposit has excellent consumer characteristics and is suitable for the manufacture of various jewellery and decorative items.

In addition to jasper, in the zones of superimposed low-temperature processing and weathering crust in the quarry walls and dumps, highly decorative agate that can be used as ornamental stone and collection material is found [10].

*Collection mineralogical material.* Among the host rocks of the Zavalivskiy graphite deposit, there is a unique mineral, rare in the whole world – grautite [8, 22]. The presence of barite, horseixite, pyrite, galena, clusters of coarse graphite, etc. is also of mineralogical interest. The collection and sale of samples of these minerals as collection material and the organization of mineralogical excursions can also have some economic effect [6, 16].

## Conclusions.

Integrated use of raw materials is one of the most important components of the rational exploitation of deposits. This is also relevant for the Zavalivskiy graphite deposit, since the potential for the integrated use of its raw materials is far from exhausted (Table2):

(1) the garnet raw material of the deposit has great prospects at present, since the Zavalivskiy Processing

Plant is the only one in Ukraine developing garnet ores; in terms of technical characteristics, the garnet concentrate of the Zavalivskiy graphite deposit is not inferior to the garnets of world manufacturers;

(2) not the whole volume of the rocky overburden is used for the building stone production;

(3) sands, clays and loams of the overburden rocks are characterized by high technological parameters and need further study of the economic feasibility of their selective development;

(4) graphite ore flotation tailings can also be considered (after required study) for using in the building materials and for glass production;

(5) the use of mineral pigments (ocher, celadonite) is possible provided their selective extraction, special separate storage and mineral processing development;

(6) jasper, chalcedony and opal formations of the Zavalivskiy graphite deposit have high decorative-textural and consumer characteristics and are suitable for the manufacture of various jewellery and jewellery-decorative items;

(7) mineralogy of interest is a unique mineral – grautite, as well as, barite, mountainseixite, pyrite, galena, clusters of coarse-grained graphite, etc. Collection and sale of samples of these minerals, as well as the organization of mineralogical excursions can also have a certain economic effect. Introduction of rational development methods and integrated use of raw materials from the Zavalivskiy graphite deposit allows us to consider this object as strategically important for the Ukrainian economy

**Tabl. 2.** Prospects for rational usage of raw materials during Zavalivskiy graphite deposit development

**Табл. 2.** Перспективи раціонального використання сировини при розробці Заваллівського родовища графіту

Raw materials	Localization of raw materials types						Promising Applications	Economic importance	Recommendations for rational usage of raw materials
	Crystalline wall rocks	Secondary alteration zone	Weathering crust	Overburden rocks	Waste of ore concentration	Spoil			
Graphite	•	•	•		•		Refractories, electrodes for metallurgy, rechargeable electric batteries, fuel cells, products for nuclear plants	Countrywide	Product range expansion. Optimization of enrichment schemes
Garnet sand	•		•			•	A wide range of abrasives, drinking water filtration	Countrywide	Innovations in enrichment technology
Rubble stone	•					•	Crushed stone, rock debris	Local	Increase in production
Sands				•	•		Ballast material in construction, silicate brick, concrete	Local	Testing according to new regulatory requirements
Clays, loams				•			Ceramic materials: brick, expanded clay	Local	High quality raw materials of low cost
Quartz-feldspar raw materials					•		Glass industry	Local	Additional testing of dump materials
Ocher, Seladonite		•	•				Mineral pigments for construction	Local	Development of enrichment technology
Jasper, Opal, Agate, Grautite		•	•			•	Jewelry and decorative products; collectible mineralogical materials	Aesthetic	Trial batch of products
Black earth						•	Reclamation of dumps and spoil	Local	Reclamation plan development

## References

1. Бузило В.И., Савельева Т.С., Савельев В.А. и др. Разработка научных основ по добыче графитовых руд комбинированным способом на базе Завальевского месторожде-

ния графита. *Materialy Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia, PAN, Krakow, 2011. C.392–400.*

2. Бызов В.Ф., Губин Г.В., Гуринов В.А. Использование гранатовых сланцев Анновского и Первомайского месторождений СевГОКа . Разработка рудных месторождений: науч.-техн. сб. Кривой Рог, 1996. Вып. 59. С. 22-26.
3. Виртуальная коллекция камней и минералов. Клуб любителей камня [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kievstone.zzz.com.ua/trips2.php> (дата обращения: 16.12.2019).
4. Гурський Д.С. [и др.]. Металічні і неметалічні корисні копалини України / Д.С. Гурський, К.Ю. Єсипчук, В.І. Калінін, Є.О. та ін. , Київ-Львів: Центр Європи, 2006. 551 с.
5. Дубына И.В. Графитовые месторождения Украинской ССР / И.В. Дубына, Харьков: ГОНТИ, 1939. 208 с.
6. Елина А.Б., Лях О.А. Минералогический туризм как перспективное направление современного туризма Чита: Забайкальский гос. университет, 2018. 103–108 с.
7. Калашник А.А., Коврижкин Н.А., Ковалев С.Г. О защите интересов Украины на отечественном рынке гранатового концентрата. Мінеральні ресурси України. 2012. № 3. С. 19–22.
8. Квасниця В.М., Науменко С.В. Кристаломорфологія графиту ( $\alpha$ -MnOОН) із Заваллівського родовища графіту (Український щит). Мінерал. журн. 2017. № 1 (39). С. 11–18.
9. Ковальчук Л.Н. Трещиноватость частиц граната из концентратов некоторых месторождений мира. Геолого-мінералогічний вісник. 2001. № 1. С. 106–109.
10. Кравченко И. Агаты Завальевского месторождения графит. Севастопольский музей камня. URL: <http://www.sevstone.ru/articles/agaty-zavaljevskogo-mestorozhdenija-grafita-kogda-neverojatnoe-stanovitsja-vozmozhnym/> (дата обращения: 26.11.2019).
11. Кушнірук Н.В., Жавнерик В.С. Отримання гранатового концентрату з розкритих руд Ганнівського родовища. Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми та перспективи розвитку: Матеріали міжнар. наук.-техн. конференції (Кривий Ріг, 12-16.052009). С.271-272.
12. Лавров Д.А., Каневский А.Я., Гордеев Ф.М. Абразивные гранаты Украины М.: Наука, 1975. 90–94 с.
13. Ларичкин Ф.Д. Терминологические проблемы комплексного использования минерального сырья. Цветная металлургия. 2004. № 12. С. 29-36.
14. Ларичкин Ф.Д. Эволюция и формирование современной парадигмы (модели) комплексного использования минерального сырья. Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. (4). С. 8–14.
15. Лижаченко Н.М., Николаєвський В.П. Перспективи використання ресурсної бази Заваллівського родовища графіту. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2013. № 2(61). С. 41–44.
16. Матковський О.І. Визначальні чинники залучення нових мінералів у практичне використання. Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: Шоста міжнародна науково-практична конференція (Трускавець, 7–11 жовтня 2019 р). С. 9–14.
17. Мирзаев Г.Г. [и др.]. Экология горного производства / Г.Г. Мирзаев, Б.А. Иванов, В.М. Щербаков, Н.М. Проскуряков, М.: Недра, 1991. 320 с.
18. Мостыка Е.Н. Гранаты Украины как перспективное абразивное сырье. Науковий вісник НГУ. 2012. (1). С. 5-9.
19. Моя коллекция: породы и минералы кремнезема. Минералы от Леонида [Электронный ресурс]. URL: <https://www.leonmin.ru/moya-kolleksiya-porody-i-minobrazovaniya-kremnezema/> (дата обращения: 16.12.2019).
20. Педан М.П., Мищенко В.С. Комплексное использование минеральных ресурсов / М.П. Педан, В.С. Мищенко, Киев: Наук. думка, 1981. 272 с.
21. Сивий М.Я. До проблеми раціонального використання мінерально-сировинних ресурсів регіону. Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2009. № 37. С. 65–75.
22. Скакун Л., Манчур Б., Мартишин А. Графит із Заваллівського графітового родовища (перша знахідка в Україні). Мінерал. зб. 2003. № 1–2 (53). С. 49–58.
23. Сурова В.М. Текстурно-колеристичні особливості та гемологічні характеристики яшм Заваллівського родовища графіту. Scientific World [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sworld.com.ua/index.php/ru/geology-311/general-and-regional-geology-311/7881-teksturnokoloristichn-osoblivost-ta-gemologichn> (дата обращения: 25.11.2019).
24. Сурова В.М., Ляшок В.І. Дослідження текстурно-колеристичних і споживчих характеристик яшм та яшмоїдів з родовищ України. Коштовне та декоративне каміння. 2012. (3), с.8-11.
25. Тарасова Т.В. [и др.]. Промислові відходи в Україні. Проблеми та шляхи їх вирішення. Т.В. Тарасова, В.Г. Губіна, Л.П. Квашук, Б.О. Горлицький, М.В. Єременко, Київ: Логос, 2011. 199 с.
26. Шакина К., Скакун Л. Мінеральні асоціації графіту на Заваллівському родовищі. Мінералогічний збірник. 2010. № 1 (60). С. 70–85.
27. Шар из яшмы, 56 мм. Камневеды [Электронный ресурс]. URL: [https://kamnevedy.ru/category/shary\\_200/kupit-suveniry-shar-yashmy\\_21636/](https://kamnevedy.ru/category/shary_200/kupit-suveniry-shar-yashmy_21636/) (дата обращения: 16.12.2019).
28. Яценко В.Г. Геология, минералогия и генезис графита Украинского щита / В.Г. Яценко, Киев: Логос, 2008. 127 с.
29. Whoriskey P. In your phone, in their air. Washington Post URL: <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/graphite-mining-pollution-in-china/>
30. Yatsenko V.G. Role of hydrothermal-metasomatic processes and weathering in formation of graphite deposits within the Ukrainian Shield. Florence – Italy – August 20-28, 2004. 881 с.

## References

1. Buzilo, V.I., Savelyeva, T.S., Savelyev, V.A., Fomichev, V.V. (2011), *Institut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia. PAN. Krakow. RU. pp. 392–400 с.*
2. Byzov, V.F., Gubin, G.V., Gurin, V.A. (1996). *Razrabotka rudnikh mesgorozhdeniy: nauch.-tekhn. sb., 59. RU. pp.22-26*
3. Virtual'naya kolleksiya kamney i mineralov. Klub lyubiteley kamnya. Available at: <http://www.kievstone.zzz.com.ua/trips2.php>
4. Hurs' kyy, D.S., Yesypchuk, K.YU., V.I. Kalinin, YE.O. ta in. (2006). *Metalichni i nemetalichni korysni kopalyny Ukrayiny*, Kyiv-Lviv: Tsentr Yevropy. UA. 551 p.
5. Dubyna, I.V. (1939), *Grafitovyye mestorozhdeniya Ukrainskoy SSR*, Khar'kov: GONTI. RU. 208 p.

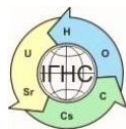
6. Yelina, A.B., Lyakh, O.A. (2018).. Zabaykal'skiy gos. universitet, Chita. RU. 103–108 p.
7. Kalashnik, A.A., Kovrizhkin, N.A., Kovalev, S.G. (2012). *Mineral'ni resursi Ukraini*, 3. RU. pp. 19–22.
8. Kvasnytsya, V.M., Naumenko YE.V. (2017). Mineral. Journal. 1 (39). UA. pp. 11 – 18.
9. Koval'chuk, L.N. (2001). *Treshchinovatos' chastits granata iz kontsentratov nekotorykh mestorozhdeniy mira*. Geologo-mineralopchniy visnik. 1. RU. pp. 106–109.
10. Kravchenko, I. *Agaty Zaval'yevskogo mestorozhdeniya grafita*. Sevastopol'skiy muzey kamnya. Available at: <http://www.sevstone.ru/articles/agaty-zavaljevskogo-mestorozhdeniya-grafita-kogda-neverojatnoe-stanovitsja-vozmozhnym/> (data obrashcheniya: 26.11.2019).
11. Kushniruk, N.V., Zhavneriyk, V.S. (2009). *Materialy mizhnar. nauk.-tekhn. konferentsiyi (Kryvyi Rih, 12-16 travnya 2009)*. UA. pp.271-272.
12. Lavrov, D.A., Kanevskiy, A.YA., Gordeyev F.M. (1975). *Abrazivnyye granaty Ukrainy*. Nauka, Moskow. RU. pp. 90–94.
13. Larichkin, F.D. (2004). *Terminologicheskiye problemy kompleksnogo ispol'zovaniya mineral'nogo syr'ya*. Tsvetnaya metallurgiya. 12. RU. pp.29-36.
14. Larichkin, F.D. (2012). Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN.4. RU. pp. 8–14.
15. Lyzhachenko, N.M., Nikolayevskyy, V.P. (2013). *Perspektivy vykorystannya resursnoyi bazy Zavallivskoho rodovyshcha hrafitu*. Visnyk kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. 2(61). UA. pp. 41–44.
16. Matkovskyy, O.I. (2019). *Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektivy investuvannya: shosta mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya (Truskavets, 7–11 zhovtnya 2019)*. UA. pp. 9–14.
17. Mirzayev, G.G. Ivanov, B.A. Shcherbakov, V.M. i dr. (1991). Nedra: Moskow. RU. 320 p.
18. Mostyka, Ye.N. (2012). *Naukoviy visnik NGU*. 1.RU. pp. 5-9.
19. Moya kolleksiya: porody i minobrazovaniya kremnezema. Mineraly ot Leonida. Available at: <https://www.leonmin.ru/moya-kolleksiya-porody-i-minobrazovaniya-kremnezema/>
20. Pedan, M.P., Mishchenko, V.S. (1981). *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nykh resursov*. Nauk. Dumka:Kiev. RU. 272 p.
21. Syvyy, M.YA. (2009). *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya heohrafichna*. 37. UA. pp. 65–75.
22. Skakun, L., Manchur, B., Martyshyn, A. (2003). *Mineralohichnyy zbirnyk*. 1–2 (53). UA. pp. 49–58.
23. Surova V.M. *Teksturno-kolorystychni osoblyvosti ta hemolohichni kharakterystyky yashm Zavallivs' koho rodovyshcha hrafitu*. Scientific World. Available at: <https://www.sworld.com.ua/index.php/ru/geology-311/general-and-regional-geology-311/7881-teksturnokoloristichn-osoblivost-ta-gemologichn> (data obrashchenyya: 25.11.2019).
24. Surova, V.M., Lyashok, V.I. (2012). *Koshtovne ta dekoratyvne kamynnya*. 3. UA. pp. 8-11.
25. Tarasova, T.V, Hubina, V.H., Kvashuk, L.P., Horlytsky, B.O i dr. (2011).. Lohos :Kyiv. UA. 199 p.
26. Shakina, K., Skakun, L. (2010). *Mineralohichnyy zbirnyk*.1 (60). UA. pp. 70–85.
27. Shar iz yashmy, 56 mm. Kamnevedy [Elektronnyy resurs]. URL: [https://kamnevedy.ru/category/shary\\_200/kupit-suvenirny-shar-yashmy\\_21636/](https://kamnevedy.ru/category/shary_200/kupit-suvenirny-shar-yashmy_21636/).
28. Yatsenko, V.G. (2008). *Geologiya, mineralogiya i genezis grafita Ukrainskogo shchita*. Logos:Kyev, RU. 127 p.
29. Whoriskey, P. In your phone, in their air. Washington Post. Available at: <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/graphite-mining-pollution-in-china/>.
30. Yatsenko, V.G. (2004). (Geol.Congress, Florence, August 20-28), 881 c.

#### РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ПРИ РОЗРОБЦІ ЗАВАЛЛІВСЬКОГО РОДОВИЩА ГРАФІТУ

**Яценко В.Г.**, канд. геол.-мін. наук, пров. н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», [vyatsenko@gmail.com](mailto:vyatsenko@gmail.com),  
**Заборовська Л.П.**, канд. геол. наук, н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», [zaborovskayalpb3@gmail.com](mailto:zaborovskayalpb3@gmail.com)  
**Земсков Г.О.**, н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», [zemskovgennadii2020@gmail.com](mailto:zemskovgennadii2020@gmail.com)  
**Лижаченко Н.М.**, канд. геол. наук, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», [albeet@ukr.net](mailto:albeet@ukr.net)  
**Ніколасвський В.П.**, головний геолог, ПрАТ «Заваллівський графітовий комбінат», [nvp49ktv@gmail.com](mailto:nvp49ktv@gmail.com)

У роботі на основі аналізу перспектив використання ресурсної бази Заваллівського родовища намічено шляхи раціональної розробки і комплексного використання його сировини, що включає перехід на підземний та комбінований видобуток графітових руд, вдосконалення схем збагачення, збільшення асортименту графітової продукції комбінату, використання відпрацьованого кар'єру для відвалів розкритих порід та хвостів. Важливішою складовою раціональної розробки Заваллівського родовища є комплексне використання його сировини: (1) гранатова сировина родовища має на сьогодні значні перспективи, оскільки родовище є єдиним в Україні, що розробляє гранатові руди; за технічними характеристиками гранатовий концентрат Заваллівського родовища не поступається гранатам світових виробників; (2) підприємство не реалізує всі обсяги скальних порід розкриття для виробництва будівельного каменю; (3) піски, глини та суглинки порід розкриття характеризуються високими технологічними показниками і потребують вивчення економічної доцільності їх селективної розробки; (4) сировина хвостів флотації графітових руд заслуговує на подальше вивчення з метою застосування в галузі будівельних матеріалів і для скляного виробництва; (5) використання мінеральних пігментів (вохри, селадоніту) можливе при селективній виймі, спеціальному окремому складуванні та розробці технології збагачення та підготовки для подальшого використання; (6) яшми, халцедоніти та опалоподібні утворення Заваллівського родовища мають високі декоративно-текстурні і споживчі характеристики і придатні для виготовлення різноманітних ювелірних та ювелірно-декоративних виробів; (7) серед вміщуючих порід Заваллівського родовища зустрічаються жили унікального, рідкісного у світі мінералу граутиту, мінералогічний інтерес представляє присутність бариту, горсейкиту, піриту, галеніту, скупчень крупнозернистого графіту, та ін. Збирання і реалізація їх зразків як колекційного матеріалу, організація мінералогічних екскурсій також можуть мати певний економічний ефект. Впровадження раціональних методів розробки і комплексного використання сировини Заваллівського родовища графіту дозволить розглядати цей об'єкт як стратегічно важливий для економіки України.

**Ключові слова:** Український щит, Заваллівське родовище графіту, графітова руда, раціональна розробка родовища, комплексне використання мінеральних ресурсів



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.016>  
УДК 552.33:553.3/4:553.08 (477.45)

**Михальченко І.І., Андрєєв О.В., Покалюк В.В.**

**Михальченко І.І.**, д-р. геол. наук, ст. н. с., Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», [alcoldan@i.ua](mailto:alcoldan@i.ua), <https://orcid.org/0000-0002-0946-1458>  
**Андрєєв О.В.**, канд. геол. н., провідний інженер Науково-навчального інституту «Інститут геології» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, [andreev@univ.kiev.ua](mailto:andreev@univ.kiev.ua), <https://orcid.org/0000-0003-0954-7777>  
**Покалюк В.В.**, д-р. геол. наук., пров. н. с., Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», [pvskan@ukr.net](mailto:pvskan@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-9282-0246>

## ПОЛЬОВІ ШПАТИ В РУДОНОСНИХ ЛУЖНИХ НАТРІЄВИХ МЕТАСОМАТИТАХ ПАРТИЗАНСЬКОГО РОДОВИЩА (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

У статті наведено результати дослідження мінерального складу рудних альбітитів і хімічного складу польових шпатів Партизанського торій-уранового родовища Партизанського рудного поля Центральноукраїнського уранового рудного району Кіровоградської металогенічної області металогенічної провінції Український щит. За результатами електронно-мікроскопічного дослідження шліфів з перетину зони доколорудних перетворень вихідного граніту встановлено, що головним мінералом зони доколорудних перетворень Партизанського родовища є альбіт. Попередній перегляд прозорих шліфів на поляризаційному мікроскопі виявив наявність польових шпатів у породі, які за особливостями внутрішньої будови схожі на калієвий польовий шпат (ортоклаз і мікроклін) вихідного граніту. Однак у процесі електронно-мікроскопічних досліджень було встановлено, що головним мінералом досліджених шліфів є альбіт. У значній кількості випадків це псевдоморфози альбіту по вихідним кристалам ортоклазу, мікрокліну, олігоклазу зі збереженням внутрішньої структури та морфології вихідних мінералів. За складом темноколірних мінералів класифіковано актиноліт-діопсидові й хлорит-епідотові різновиди цих метасоматитів. Серед акцесорних і рудних мінералів виявлено: магматичні (реліктові) – циркон, апатит, монацит; пневматоліто-гідротермальні – сидерит, барит, титаніт, торит, гематит, настуран, галеніт; незрозумілі – кофініт (?), уран-торій-рідкісноземельні мінерали (суміш). Довколорудні пневматоліто-гідротермальні породи родовища класифіковано як апогранітні альбітити – тилова зона колонки лужних натрієвих метасоматитів зон розломів. Цим підтверджено результати польового дослідження Пошуково-зйомочною експедицією № 46 КП «Кіровгеологія» перетину альбітитів Партизанського родовища й правомірність класифікації ансамблю доколорудних перетворень як геологічної формації лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів.

**Ключові слова:** торій-уранові родовища, альбітити, лужні натрові метасоматити, Український щит, докембрій.

**Вступ.** Партизанське торій-уранове родовище було виявлено М.Ф. Сиродєєвим та ін. у 1978 р. Ансамбль пневматоліто-гідротермальних порід із зони доколорудних перетворень вихідних гранітів родовища попередниками [2, 4, 6] класифіковано як геологічну формацію лужних натрієвих метасоматитів в зонах розломів. Рудні перетини родовища, як і інших рудних об'єктів цього формаційного типу, тяжіють до тилової зони колонки лужних натрієвих метасоматитів – апогранітних альбітитів. Під час сучасних геологорозвідувальних робіт на родовищі Пошуково-зйомочною експедицією (ПЗЕ) № 46 КП «Кіровгеологія» було пробурено кілька нових свердловин. У процесі польової геологічної документації і петрографічних досліджень кернів цих свердловин геологами ПЗЕ № 46 доколорудні породи були класифіковані як апогранітні альбітити.

**Визначення проблеми.** Співробітниками однієї з наукових організацій НАН України у рамках співпраці з ПЗЕ № 46 у зразках тилової зони доколорудних перетворень Партизанського родовища було нібито визначено калієвий польовий шпат як один із головних породотвірних мінералів, на основі чого визнано сумнівним віднесення порід доколорудних перетворень вихідної граніт геологічної формації лужних натрієвих метасоматитів. Геологічною службою ПЗЕ № 46 й нами визнано за необхідне підтвердження правомірності діагностики польових шпатів із тилової зони доколорудних перетворень родовища як альбітів, що є важливим для визначення формаційної належності ансамблю доколорудних пневматоліто-гідротермальних порід (класифікації геологічної формації). Важливим завданням є підтвердження належності Партизанського родовища до рудної формації ураноносних натрієвих метасоматитів.



**Об'єкт дослідження** – зона доколорудних перетворень Партизанського родовища, яку було перетнуто свердловиною 62004.

**Предмет дослідження** – хімічний склад польових шпатів із зразків 62004/474, 62004/500, 62004/512.

**Мета дослідження** – встановити мінеральний склад рудоносних альбітитів й класифікувати польові шпати за хімічним складом.

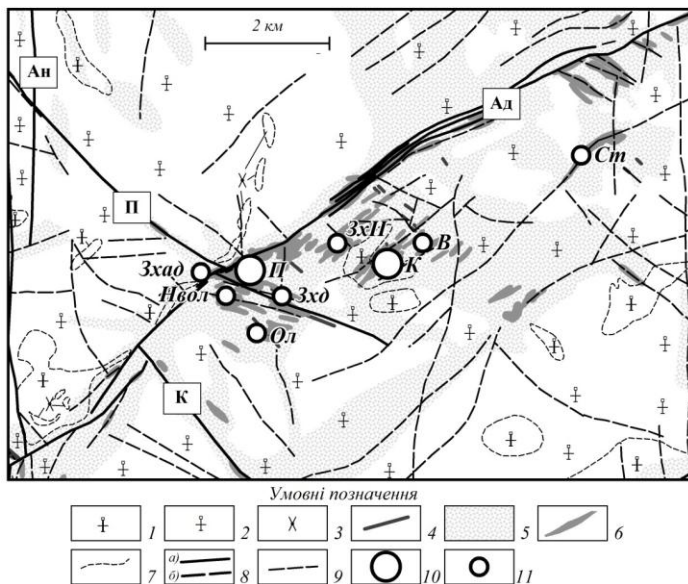
**Методи дослідження:** збір та аналіз попередніх результатів геологічного вивчення Партизанського торій-уранового родовища; документація кернів свердловини з відбором зразків; петрографічне й електронно-мікроскопічне дослідження прозоро-полірованих шліфів, які було надано ПЗЕ № 46 КП «Кіровгеологія»; визначення хімічного складу породотвірних рудних й акцесорних мінералів із використанням електронного мікроскопа-мікроаналізатора РЕММА-202М з енергодисперсійним спектрометром (лабораторія рентгенівських та мікроскопічних досліджень мінеральної речовини Навчально-наукового інституту «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка); узагальнення, аналіз та інтерпретація отриманих результатів. Класифікацію плагіоклазів виконано за хімічним складом з урахуванням [1].

З групи прозоро-полірованих шліфів, у мінеральному складі яких попередньо нібито було виявлено

значну об'ємну частку калієвих шпатів, геологічною службою ПЗЕ № 46 КП «Кіровгеологія» було відібрано три шліфи. Усі шліфи – не покриті. Під час виготовлення шліфів ПЗЕ № 46 КП «Кіровгеологія» замість канадського бальзаму було використано синтетичний клей. Нами було проведено відповідну підготовку цих шліфів для електронно-мікроскопічних досліджень, а саме, клей з поверхні прозоро-полірованих шліфів було видалено вручну на алмазних план-шайбах із наступною поліровкою препаратів вручну на папері, який було змащено алмазною пастою, й фінішною промивкою.

### Геологічна будова родовища

Партизанське родовище знаходиться в центральній частині складного, поліфазного, інтрузивного Новоукраїнського масиву, який розташований у західній частині Інгульського мегаблоку Українського щита. Цей рудний об'єкт входить до складу Партизанського рудного поля, усі родовища й рудопрояви якого характеризуються торій-урановим складом руд, що докорінно відрізняє це рудне поле від Апрельського, Ватутинського й Новокостянтинівського рудних полів, у складі яких натепер виявлено уранові родовища. Партизанське рудне поле (рис. 1) розташоване на півдні Центральноукраїнського урановорудного району Кіровоградської металогенічної області металогенічної провінції Український щит.



**Рис. 1.** Схематична геологічна карта Партизанського рудного поля (за даними КП «Кіровгеологія»).

Умовні позначення: 1-3 – новоукраїнський комплекс  $PR_1^1nu$ : 1 – граніт гранат-біотит-піроксенівий, 2 – граніт гранат-біотитовий, 3 – монзоніт; 4 – дайки основних і ультраосновних порід северинівського комплексу  $PR_1^2sv$ ; 5-6 – формація лужних натрієвих метасоматитів  $PR_1^2mt$ : 5 – «діафторити», 6 – мікроклін-альбітові метасоматити і альбітити; 7 – геологічні границі; 8 – головні розломи: а – достовірні, б – ймовірні (Ад – Адабаський, П – Партизанський, К – Калинівський; Ан – Анастасієвський); 9 – другорядні розломи; 10 – торій-уранові родовища (К – Кіровське, П – Партизанське); 11 – торій-уранові рудопрояви (Зхад – Західноадабаський, Нвол – Новоолексієвський, Ол – Олексіївський, Зхд – Західний, ЗхП – Захарівський, В – Восточний, Ст – Сотницький (Арепівський))

**Fig. 1.** Schematic geological map of the Partyzan ore field (according to KP «Kirovgeology»)

Symbols: 1-3 – Novoukrainskyi complex  $PR_1^1nu$ : 1 – garnet-biotite-pyroxene granite, 2 – garnet-biotite granite, 3 – monzonite; 4 – dikes of the basic and ultrabasic rocks of the Severynivskyi complex  $PR_1^2sv$ ; 5-6 – formation of alkaline sodium metasomatites  $PR_1^2mt$ : 5 – «diaphthorites», 6 – microcline-albite metasomatites and albitites; 7 – geological boundaries; 8 – the main fault faults: a – reliable, b – probable (Ад – Adabaskyi, P – Partyzanskyi, K – Kalynivskyi; Ан – Anastasiivskyi); 9 – minor faults; 10 – thorium-uranium deposits (К – Kirovskyi, P – Partyzanskyi); 11 – thorium-uranium ores (Зхад – Zakhidnoadabashkyi, Нвол – Novoolexiivskyi, Ол – Olexiivskyi, Зхд – Zakhidnyi, ЗхП – Zakhariivskyi, В - Vostochnyi, Ст – Sotnytskyi (Arepiivskyi))

Розріз верхньої частини земної кори району складається з двох структурних ярусів. Нижній ярус складено докембрійськими утвореннями фундаменту, на якому горизонтально залягають палеогенові, неогенові і четвертинні пухкі утворення верхнього ярусу.

Новоукраїнський масив складено основними, середніми й кислими (останні переважають) магматичними породами однойменного комплексу ( $PR_{1nu}$ ). Серед кислих порід на ділянці дослідження (як і по усьому масиву) переважають середньо-крупно-гігантозернисті, порфіровидні, часто трахітоїдні, альмандин-біотитові граніти, у яких зустрічаються ксеноліти метаморфічних й ультраметаморфічних порід. Монзоніти (іноді кварцові) і граніти альмандин-біотит-гіперстенові зустрічаються тут у вигляді окремих невеликих тіл неправильної форми. Жильна фаза комплексу – середньо- і дрібнозернисті лейкократові граніти, пегматоїдні граніти.

Партизанське рудне поле тягнеться до області перетину північно-західної Войновської і північно-східної Адабаської зон розломів. Перша представлена швами бластомілонітів, катаклазитів, жилами гранітів та дайками основних й ультраосновних порід северинівського комплексу ( $PR_{1sv}$ ) (назва комплексу – за О.М. Сухініним, 1984), друга – швами бластомілонітів, бластокатаклазитів, мілонітів, катаклазитів, зонами розсланцювання, тріщинуватості й брекчіювання.

Головним диз'юнктивним порушенням родовища є Адабаський розлом північно-східного простягання й північно-західного падіння, що складається зі швів бластомілонітів, бластокатаклазитів, мілонітів, катаклазитів, зон розсланцювання, тріщинуватості й брекчіювання загальною потужністю від 20 до 160 м. Поблизу цієї розривної структури встановлено дрібніші розломи того ж простягання, які разом утворили зону, в котрій відбулися інтенсивні гідротермально-метасоматичні перетворення усіх зазначених вище вихідних магматичних й метаморфічних порід. Гідротермально-метасоматичні породи представлені формацією лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів ( $PR_{1mt}$ ), а також зонами епідотизації й окварцювання. Гідротермально-метасоматичні перетворення відбулися в дві стадії: ранню прогресивну (альбітиту) і завершальну споріднену (постальбітиту). «Горизонтальна» зональність ранньої стадії цих гідротермально-метасоматичних утворень по гранітоїдам представлена наступними зонами: незмінений граніт (нульова зона) → «діафторований» граніт (передова зона гідротермального метаморфізму) → альбіт-мікрокліновий або мікроклін-альбітовий метасоматит, (проміжна зона) → альбітит (тилова зона). У цілому подібна будова метасоматичних ореолів характерна для лужних натрієвих метасоматитів, що розвиваються по алюмосилікатним породам [2, 5], й від-

творена експериментально [3].

На рівні ерозійного зрізу фундаменту в Адабаській зоні розломів найбільшу площу складають ареали зони передового гідротермального метаморфізму, який ідентифіковано за хлоритизацією й епідотизацією вихідних порід. Мікроклін-альбітові метасоматити й альбітити тяжіють до осьових частин різнорангових зон розломів. Характерною особливістю структури Партизанського рудного поля є те, що інтенсивні гідротермально-метасоматичні перетворення вихідних порід відбулися переважно у лежачому боці Адабаського розлому. Альбітити родовища картовано у трьох зонах – субширотній, північно-східній, північній (рис. 1).

Натепер відомі результати дослідження хімічного складу піроксенів альбітитів Партизанського родовища, за якими авторами роботи [6] було сформульовано наступні висновки:

- за визначеннями хімічного складу піроксенів у альбітитах встановлено кальцієві й кальцієво-натрієві відмінності. Величина атомного співвідношення  $Ca/(Ca+Na)$  в досліджених піроксенах змінюється від 0,2 до  $\approx 0,5$  та від  $\approx 0,8$  до 0,95;

- набір визначених за співвідношенням  $Ca/(Ca+Na)$  видів піроксенів у досліджених альбітитах Партизанського родовища відрізняється від складу піроксенів альбітитів Новокосятинівського рудного вузла відсутністю чистих егірінів, а також наявністю окремих кристалів із підвищеною масовою часткою глинозему;

- присутність у одному перетині альбітитів піроксенів з різним хімічним складом є свідченням зміни фізико-хімічних умов утворення лужних натрієвих метасоматитів упродовж періоду їх формування. На ранній (альбітиту) стадії високотемпературні асоціації апогранітних метасоматитів з кальцієвими піроксенами змінювалися у часі середньотемпературними з кальцій-натрієвими піроксенами;

- підвищені значення масової частки глинозему в хімічному складі піроксенів альбітитів слід інтерпретувати як свідчення наявності локальних ділянок підвищеного тиску продовж ранньої (альбітиту) стадії породотворення;

- аномальні термобаричні умови утворення альбітитів зони Адабаського розлому відображають умови виникнення своєрідної торій-уранової рудної спеціалізації Партизанського родовища.

Слід зазначити, що під час дослідження [6] апогранітних альбітитів Партизанського родовища не було встановлено різновидів альбітитів із значною об'ємною часткою калієвого польового шпату.

У більш пізній роботі [4] наведено результати дослідження концентрації й кореляції урану й торію в розрізі покладу рудних альбітитів. Було вивчено три

перетини рудних альбітитів. Кореляцію урану і торію «рудних» альбітитів Партизанського родовища оцінено на рівні найглибшого перетину як високу, проміжного перетину – слабку, найближчого перетину до рівня сучасного ерозійного зрізу кристалічного фундаменту – помірну. На прикладі Партизанського родовища уперше ідентифіковано «вертикальну» рудну зональність рудної формації ураноносних натрієвих метасоматитів за наявністю на глибоких горизонтах торій-уранових руд, а у верхній частині родовища – уранових руд. Отримані дані дали підставу наступної реконструкції геохімічної історії урану і торію при утворенні «рудних» альбітитів цього рудного об'єкту. У хімічному складі глибинних рудотвірних флюїдів була значна концентрація урану та торію (вірніше, їхніх міграційно здатних сполук). За міграції флюїдів уверх по розрізу відбулося розділення цих хімічних елементів. Головна маса торію була осаждена з частиною урану на глибоких горизонтах родовища. Головна маса урану була перенесена рудоносними флюїдами й осаждена в середніх і верхніх частинах «рудного» покладу. Цим було підтверджено попередній висновок [6] про несталість фізико-хімічних умов породо(рудо)творення за лужного натрієвого метасоматозу.

Слід зазначити, що досліджені шліфи вироблено із зразків із перетину альбітитів, який знаходиться неподалік від проміжного перетину рудних альбітитів, результати дослідження кореляції урану й торію якого висвітлено в роботі [4]. Окремо слід зазначити, що на теперішній час не відомі роботи, у яких висвітлено хімічний склад польових шпатів Партизанського торій-уранового родовища.

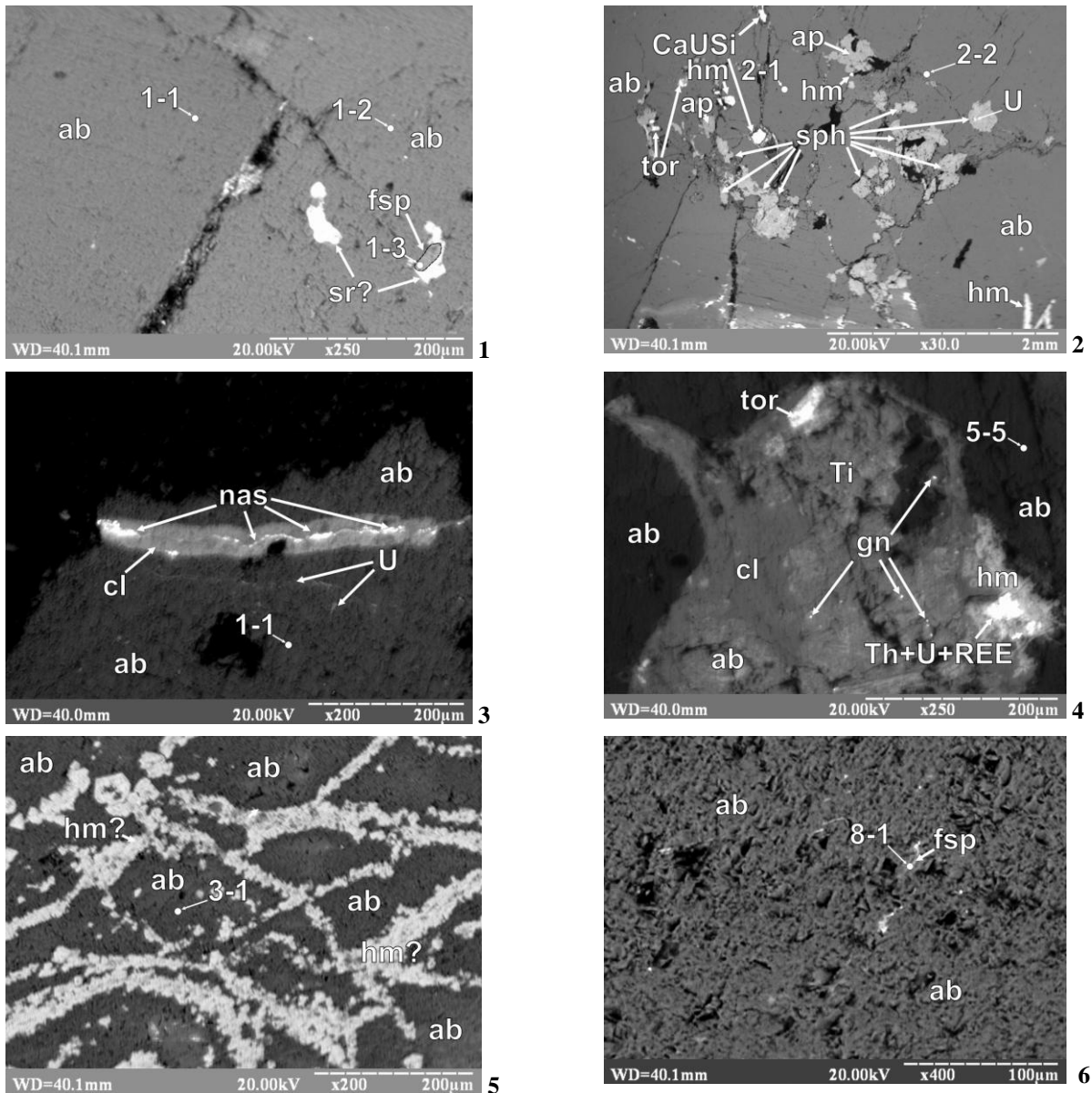
### Результати дослідження

Структурно-текстурні особливості метасоматичних порід, які утворилися довкола руд Партизанського родовища, дуже схожі на вихідні граніти гранатбіотитові Новоукраїнського масиву. Попередній огляд прозорих шліфів на поляризаційному мікроскопі підтвердив наявність мінералів у породі, які за особливостями внутрішньої будови схожі на мікроклін вихідного граніту. Однак у процесі електронно-мікроскопічних досліджень було встановлено, що головним мінералом досліджених шліфів є альбіт перших номерів незалежно від морфологічних особливостей його кристалів. У значній кількості випадків це псевдоморфози альбіту по вихідним кристалам ортоклазу, мікрокліну, олігоклазу, кварцу. Електронно-мікроскопічні зображення (режим Compo) альбітитів свердловини наведено на рис. 2, результати дослідження хімічного складу польових шпатів зведено в таблиці. Нижче наведено короткий опис шліфів.

*Шліф 62004/474.* Альбіт апогранітний, лейкокатовий, крупнозернистий, тріщинуватий, слабко катклазований. Мінеральний склад: головні мінерали – альбіт (рис. 2, -1, -2; табл.); другорядні – актиноліт, діопсид (одне дрібне зерно), хлорит; аксесорні й рудні – гематит, титаніт, апатит, уранофан, торит, кальцій-урановий силікат, ураніт (?) – дрібні виділення в сфені; реліктові: монацит, циркон, апатит. По тріщинам – гідроксиди заліза. У шліфі виявлено одне дрібне зерно реліктового калієвого польового шпату (рис. 2, -2; табл.). Зустрінуто одне дрібне зерно кальциту.

**Табл.1.** Хімічний склад польових шпатів з перетину альбітитів свердловини 62004 Партизанського родовища  
**Table 1.** Chemical composition of feldspars from the albitite intersection of the borehole 62004 of the Partyzan ore field

№ з/п	Шліф	№ аналізу	Назва мінералу	Масова частка компоненту (%)							Σ
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	
1	62004/512	8-1	Калієвий польовий шпат	64,0	19,78	<0,1	<0,1	<0,1	3,75	12,47	100
2	62004/512	3-2	Альбіт	67,20	21,36	0,60	<0,1	<0,1	10,35	<0,1	100
3	62004/474	1-1	Альбіт	68,57	20,63	0,16	<0,1	<0,1	10,64	<0,1	100
4	62004/474	1-2	Альбіт	68,75	20,81	0,24	<0,1	<0,1	10,2	<0,1	100
5	62004/474	1-3	Калієвий польовий шпат	60,42	18,99	<0,1	2,46	1,84	4,37	11,93	100
6	62004/474	2-3	Альбіт	67,96	21,09	0,24	<0,1	<0,1	10,32	<0,1	100
7	62004/500	1-1	Альбіт	68,73	20,97	0,39	<0,1	<0,1	9,63	0,29	100
8	62004/500	2-1	Альбіт	68,20	21,21	0,28	<0,1	<0,1	10,07	0,23	100
9	62004/500	5-5	Альбіт	68,28	21,39	0,43	<0,1	<0,1	9,62	0,28	100



**Рис. 2.** Електронно-мікроскопічні зображення (режим Compo) альбітитів свердловини № 62004 Партизанського родовища: 1, 2 – гл. 474 м, 3, 4 – гл. 500 м; 5, 6 – гл. 512. Точками позначено місця вимірів хімічного складу мінералів, цифрове позначення – номер аналізу (див табл.).

*Скорочення назв мінералів:* ab – альбіт, ap – апатит, cl – хлорит, mz – монацит магматичний, fsp – калієвий польовий шпат, sr – сидерит, sph – титаніт, tor – торит, hm – гематит, nas – настуран, gn – галеніт, нерозпізнані: CaUSi – кофінит (?); U – мінерали урану, U+Th+REE – уран-торій-рідкісноземельні мінерали (суміш), Ti – мінерали титану.

**Fig. 2.** Electron microscopic images (Compo mode) of the albitites from borehole 62004, Partyzan ore-field: 1, 2 – depth 474 m; 3, 4 – depth 500 m; 5, 6 – depth 512 m. The dots indicate the locations of measurements of the chemical composition of minerals, the numerical indexes – the number of the analysis (see tab.).

*Abbreviations of mineral names:* ab – albite, ap – apatite, cl – chlorite, mz – monazite magmatic, fsp – potassium feldspar, sr – siderite, sph – titanite, tor – torit, hm – hematite, nas – nasturan, gn – galena, unrecognized: CaUSi – Cofinite (?); U – uranium minerals, U + Th + REE – uranium-thorium-rareearth minerals (mixture), Ti – titanium minerals.

За наявності діопсиду й актиноліту альбітит цього шліфа співставлено з високотемпературною актиноліт-діопсидовою групою апогранітних фацій формації лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів [2].

*Шліф 62004/500.* Альбітит хлорит-епідотовий, апогранітний, крупнозернистий, тріщинуватий, слабо катаклазований. Мінеральний склад: головні міне-

рали – альбіт (рис. 2; -3, -4; табл.); другорядні – хлорит (переважно у тріщинах), епідот; акцесорні й рудні – титаніт, апатит, галеніт, барит, гематит (переважає, значна кількість кристалів утворилася в тріщинках), настуран (?), скупчення торій-уранових мінералів у хлориті, торій-уран-рідкісноземельні мінерали в гематиті, уранові черні по тріщинам, уран по тріщинам в альбіті, карбонат рідкісних земель; реліктові – мона-

цит, циркон, апатит.

За наявності хлориту й епідоту порода цього шліфа співставляється з хлорит-епідотовою групою апогранітних фацій геологічної формації лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів [2, 5].

*Шліф 62004/512.* Альбітит лейкократовий, апогранітний, крупнозернистий, тріщинуватий, слабко катаклаваний з накладеним (?) хлоритизованим біотитом. Мінеральний склад: головні мінерали – альбіт (рис. 2; -5, -6; табл.); другорядні – хлорит (переважно у тріщинах), епідот, хлоритизований біотит; акцесорні й рудні – титаніт, апатит, гематит; накладені – біотит; реліктові: монацит, циркон, апатит. В одному випадку виявлено монацит, який утворився в мікротріщинці. Хімічний склад одного кристалу біотиту, який знаходиться в мікротріщинці, відзначається аномаліями ванадію (масова частка ( $w$ ) ( $V_2O_5$ ) – 7,43 %), скандію ( $w(Sc_2O_3)$  – 1 %), урану ( $w(UO_2)$  – 5,09 %). У шліфі виявлено також одну мікротріщинку, яку заповнено калієвим польовим шпатом (рис. 2, -6). В основній масі шліфа виділяються дві ділянки брекчіювання. Уламки складено альбітом, цемент – гематит (гідрооксиди заліза?) (рис. 2, -5). Імовірно, це залишки від об'єму зерен альмандину вихідного граніту.

За наявності актиноліту альбітит цього шліфа відноситься до високотемпературної актиноліт-діопсидової групи апогранітних фацій формації лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів [2].

#### Обговорення результатів дослідження

Теоретичний хімічний склад чистого альбіту ( $NaAlSi_3O_8$ ): масова частка ( $w$ )  $Na_2O$  – 11,82 %;  $w(Al_2O_3)$  – 19,44 %;  $w(SiO_2)$  – 68,74 %. Варіації теоретичного складу плагіоклазів альбітового ряду ( $Al_{0-5}$ ):  $w(Na_2O)$  – (11,82-11,19) %;  $w(CaO)$  – (0,00-1,07) %;  $w(Al_2O_3)$  – (19,44-20,35) %;  $w(SiO_2)$  – (67,39-68,74) % [1]. Незважаючи на деякі варіації в хімічному складі досліджених кристалів альбітів за одним із головних параметрів в класифікації плагіоклазів  $w(CaO)$  в альбітах із свердловини 62004 значення вимірів  $w(CaO)$  значно менші 1,07 (див. табл.). За хімічним складом ці плагіоклази класифіковано як альбіти перших номерів. Нами не виявлено у шліфах, що досліджено, ознак наявності в мінеральному складі альбітитів Партизанського родовища егірину й рибекіту.

За результатами дослідження мінерального складу прозоро-полірованих шліфів 62004/474, 62004/500, 62004/512 методами оптичної петрографії й електронної мікроскопії встановлено, що головним мінералом зони доколорудних перетворень дослідженого перетину тилової зони метасоматичної колонки лужних натрієвих метасоматитів є альбіт перших номерів, відповідно, основна тканина цих порід складена псев-

доморфозами цього плагіоклазу по вихідним кристалам ортоклазу, мікрокліну, олігоклазу, кварцу. За мінеральним складом породи зразків, з яких виготовлено шліфи, – апогранітні альбітити. Цим підтверджено сучасні результати польових й петрографічних досліджень ПЗЕ № 46 КП «Кіровогеологія» та дані попередників щодо правомірності класифікації ансамблю доколорудних пневматоліто-гідротермальних порід як геологічної формації лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів.

#### Висновки

1. Головним мінералом дослідженого перетину зони доколорудних перетворень руд Партизанського родовища є альбіт. Довколорудні породи родовища класифіковано як апогранітні альбітити – тилова зона колонки лужних натрієвих метасоматитів зон розломів.

2. Підтверджено результати польового дослідження Пошуково-зйомочної експедиції № 46 КП «Кіровогеологія» перетину альбітитів Партизанського родовища й правомірність класифікації ансамблю доколорудних пневматоліто-гідротермальних порід як геологічної формації лужних натрієвих метасоматитів зон глибинних розломів.

#### Література

1. Альбит: описание минерала. Available at: <https://natural-museum.ru/mineral/альбит>
2. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. Я.Н. Белевцев, В.Б. КовальК.: Наукова думка, 1995. 396 с.
3. Зарайский Г.П. Зональность и условия образования метасоматических пород. М.: Наука, 1989. 341 с.
4. Михальченко І.І. Кореляція урану і торію в «рудних» альбітах Партизанського родовища, Український щит. Мінералогічний журнал. 2016. Т. 38. № 4. С. 54-65.
5. Омеляненко Б.И. Околорудные гидротермальные изменения пород. М.: Недра, 1978. 214 с.
6. Синицин В.О. Хімічний склад піроксенів з альбітитів зони Адабаського розлому (Новоукраїнський масив, Український щит). В.О. Синицин, І.І. Михальченко, А.Ю. Шевела. Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету. 2014. № 1-2. С. 50-60.

#### References

1. Alby: opysanye mynerala. Available at: <https://natural-museum.ru/mineral/al'byt>
2. Belevtsev, Ya.N., Koval, V.B., Bakarzhayev, A.Kh. (1995), Naukova dumka, Kyiv, 396 p.
3. Zaraysky, H.P. (1989), Nauka, Moskva, 341 p.
4. Mihalchenko, I.I. (2016), *Mineralohichnyy journal*, Vol. 38, № 4, pp. 54–65.
5. Omel'yanenko, B.Y. (1978), Nedra, Moskva, 214 p.
6. Synytsyn, V.O., Mihalchenko, I.I., Shevela, A.Yu. (2014), *Geology and Mineralogy Bulletin of Krivoy Rog National University*, № 1–2, pp. 50–60.

## FELDSPARS IN THE ORE BEARING ALKALINE NATRIUM METASOMATITES OF THE PARTIZAN DEPOSIT (UKRAINIAN SHIELD)

**Mihalchenko I.**, Doc. of Sciences (geol.), leading researcher, SI State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", [alcoldan@i.ua](mailto:alcoldan@i.ua), <https://orcid.org/0000-0002-0946-1458>

**Andreev A.**, Ph.D (geol.), associate professor, Institute of Geology of Taras Shevchenko Kyiv National University, [andreev@univ.kiev.ua](mailto:andreev@univ.kiev.ua), <https://orcid.org/0000-0003-0954-7777>

**Pokalyuk V.**, Doc. of Sciences (geol.), leading researcher, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", [pvskan@ukr.net](mailto:pvskan@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-9282-0246>

*The article presents the results of the study of the mineral composition of ore albitites and the chemical composition of feldspars of the Partyzan thorium-uranium deposit of the Partyzan ore field of the Central Ukrainian uranium ore area of the Kirovograd metallogenic region of the metallogenic province of Ukrainian Shield. According to the results of electron microscopic examination of the thin sections from the zone of near-ore changes of the original granite, it is established that albite is the main mineral of the zone of near-ore changes of the Partyzan deposit. A preview of the transparent thin sections on a polarization microscope revealed the presence of feldspars in the rock which are similar to potassium feldspar (orthoclase and microcline) of the original granite in terms of the internal structure. However, in the process of electron microscopic studies, it was found that the major mineral of the investigated sections is albite. In a considerable number of cases, these are albite pseudomorphoses on the original crystals of orthoclase, microcline, and oligoclase with preservation of the internal structure and morphology of the starting minerals. The composition of dark-colored minerals is classified as actinolite-diopside and chlorite-epidote varieties of these metasomatites. Among the accessory and ore minerals were found the following: magmatic (relict) – zircon, apatite, monazite; pneumatolito-hydrothermal – siderite, barite, titanite, torite, hematite, nasturan, galena; unrecognized – coffinite (?), uranium-thorium-rare earth minerals (mixture). Near-ore pneumatolito-hydrothermal rocks of the deposit are classified as apogranitic albitites, the posterior zone of the column of alkaline sodium metasomatites of the fault zones. This confirms the results of a field survey carried out by the Search and survey expedition № 46 of KP "Kirovgeologiya" and aimed at an intersection of Partyzan deposit albitites, as well as the validity of the classification of the near-ore changes as a geological formation of alkaline sodium metasomatites of deep fault zones.*

**Key words:** thorium-uranium deposits, albitites, alkaline sodium metasomatites, Ukrainian shield, Precambrian.

## ПОЛЕВЫЕ ШПАТЫ В РУДОНОСНЫХ ЩЕЛОЧНЫХ НАТРИЕВЫХ МЕТАСОМАТИТАХ ПАРТИЗАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

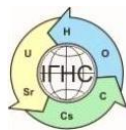
**Михальченко И.И.**, докт. геол. н., ст. н. с. ГУ "Институт геохимии окружающей среды НАН Украины", [alcoldan@i.ua](mailto:alcoldan@i.ua), <https://orcid.org/0000-0002-0946-1458>

**Андреев А.В.**, канд. геол. н., ведущий инженер Научно-учебный институт «Институт геологии» Киевского национального университета им. Тараса Шевченка, [andreev@univ.kiev.ua](mailto:andreev@univ.kiev.ua), <https://orcid.org/0000-0003-0954-7777>

**Покалюк В.В.**, докт. геол. н., вед. н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», [pvskan@ukr.net](mailto:pvskan@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-9282-0246>

*В статье приведены результаты исследования минерального состава рудных альбититов и химического состава полевых шпатов Партизанского торий-уранового месторождения Партизанского рудного поля Центральноукраинского уранового рудного района Кировоградской металлогенической области Металлогенической провинции Украинский щит. По результатам электронно-микроскопического исследования шлифов из пересечения зоны околорудных изменений исходного гранита установлено, что главным минералом зоны околорудных изменений Партизанского месторождения является альбит. Предварительный просмотр прозрачных шлифов на поляризационном микроскопе выявил присутствие полевых шпатов в породе, которые по особенностям внутреннего строения похожи на калиевый полевой шпат (ортотлаз и микроклин) исходного гранита. Однако в процессе электронно-микроскопических исследований было установлено, что главным минералом исследованных шлифов является альбит. В большинстве случаев это псевдоморфозы альбита по исходным кристаллам ортоклаза, микроклина, олигоклаза с сохранением внутренней структуры и морфологии исходных кристаллов. По составу темноцветных минералов классифицированы актинолит-диопсидовые и хлорит-эпидотовые разновидности этих метасоматитов. Среди акцессорных и рудных минералов выявлены: магматические (реликтовые) – циркон, апатит, монацит; пневматолито-гидротермальные – сидерит, барит, титанит, торит, гематит, настуранин, галенит; нераспознанные – коффинит (?), уран-торий-редкоземельные минералы (смесь). Околорудные пневматолито-гидротермальные породы месторождения классифицированы как апогранитные альбититы – тыловая зона колонки щелочных натриевых метасоматитов зон разломов. Этим подтверждены результаты полевого исследования Поисково-съёмочной экспедицией № 46 КП «Кировгеология» пересечения альбититов Партизанского месторождения и правомерность классификации ансамбля околорудных изменений как геологической формации щелочных натриевых метасоматитов зон глубинных разломов.*

**Ключевые слова:** торий-урановые месторождения, альбититы, щелочные натриевые метасоматиты, Украинский щит, докембрий.



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.023>

UDC 502/504

**Gubina V.G., Zaborovsky V.S., Mitsiuk N.B.**

**Gubina V.**, Senior Research Fellow, Leading Researcher, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", <https://orcid.org/0000-0001-7486-5451>, [gvg131619@gmail.com](mailto:gvg131619@gmail.com)

**Zaborovsky V.**, Researcher, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine"

**Mitsiuk N.**, Research Assistant, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", [nmitsiuk@gmail.com](mailto:nmitsiuk@gmail.com)

## COMPARATIVE ANALYSIS OF WASTE GENERATION AND ACCUMULATION IN UKRAINE AND EU

*The volume of waste generation and accumulation in Ukraine and European countries (except for radioactive waste, which is regulated by separate legislation) has been analysed based on the waste generation statistics in these countries. The data on the annual waste generation and accumulation volumes are presented based on different classifications, i.e. by hazard waste classes, types of economic activity, composition of the waste. It has been shown that by 2013 in Ukraine more than 400 million tons of waste had been generated annually, including over 1 million tons of hazardous waste and over 12 million tons of household waste. At present about 300 million tons of different waste is produced annually, including over 0.5 million tons of hazardous and 12 million tons of household waste. The data do not include temporary occupied territories of the Crimea and parts of Donetsk and Luhansk regions. In the European Union, more than 70% of the total waste is generated in 10 countries: Germany, France, England, Poland, Romania, Italy, Sweden, the Netherlands, Spain and Finland. By type of economic activity, the largest amounts of waste in Ukraine are produced from the mineral extraction and the processing industry, the smallest – from water treatment, and the construction and demolition of buildings. In the EU countries, these values are somewhat different. For example, in Germany, the largest amounts of waste are generated from the demolition of buildings and the processing industries, the smallest – in agriculture, forestry and fishery. By classes of materials, the waste generated and accumulated both in the EU countries and in Ukraine is mineral and solid waste. In Ukraine, the largest amounts of waste are generated and accumulated in the Dnipropetrovsk, Donetsk and Zaporizhzhia regions which accommodate large enterprises for extraction and enrichment of iron and manganese ores, titanium-zirconium placers, coal, dolomite, and metallurgical limestone, as well as metallurgical and ferroalloy plants. The by-products of all these plants are slag, sludge and oil scale. Depending on the volumes of the produced waste, regions of Ukraine are classified into three groups. The first includes areas accommodating hundreds of millions of tons of waste, the second – tens of millions of tons, the third – less than 10 million tons.*

**Keywords:** waste, types of economic activity, sources of waste, waste generation and accumulation, "tails", slag, sludge

**Introduction.** Rapid global economic growth at the end of the last millennium led to excessive use of non-renewable natural resources and increase of human impact on the environment. Generation and accumulation of the production and consumption waste on the earth's surface became one of the challenges standing before the humanity in the nearest future. In accordance with the national waste management programmes, the European Union and Ukraine make inventories of the waste generated and accumulated both by enterprises and households.

The volume of waste generation in different countries varies depending on the economic activity. The waste inventories reflect the socio-economic differences and different approaches to treatment and identification of waste types. The largest amount of waste is generated in countries with developed mining and metallurgical industries. At the same time the countries where these sectors of the economy are not developed have a high level of domestic consumption, which results in significant gener-

ation of household waste as well as construction and demolition waste.

The aim of our work was to analyse the volumes of waste generation and accumulation in Ukraine by types of the economic activity, hazard classes, composition and regional distribution, and to compare waste generation and accumulation rates in Ukraine and EU countries.

**Results and Discussion.** According to the State Statistics Service of Ukraine, in recent years, over 200 million tons of waste have been generated annually including 0.6 - 1.6 million tons of hazardous waste and over 10-12 million tons of household and similar waste. In 2016, more than 12 billion tons of waste have been accumulated in Ukraine, including about 12 million tons of hazardous and over 170 million tons of household and similar wastes (except for the temporarily occupied territories of Donetsk and Luhansk regions, and the temporarily occupied Crimea). By 2013, the amount of wastes accumulated in Ukraine was 15.2 billion tons (Table 1). [1]

**Table 1.** Waste accumulation and generation in Ukraine, mln tons  
**Табл. 1.** Накопичення та утворення відходів в Україні, млн. тонн

Year	Generation of waste	Including hazardous waste	Including household and similar waste	Accumulation of waste	Including hazardous waste	Including household and similar waste
2010	419.192	1.6	12.110	13267.455	16.236	135.945
2011	447.641	1.4	10.356	14422.372	15.158	141.251
2012	450.727	1.4	13.787	14910.105	14.325	150.516
2013	448.118	0.9	14.501	15167.369	12.642	160.118
2014**	354.803	0.7	10.748	12115.241	11.951	166.112
2015	312.267	0.6	11.492	12 281.353	11.996	170.306
2016	295.870	0.6	11.563	12 451.659	12.102	174.514

As can be seen from the table the amount of waste had increased by 2013, and since 2014 it has decreased. This is explained by the fact that the enterprises located at the temporarily occupied territories of Donbass and Crimea have not been taken into account by the Ukrainian statistics.

According to Eurostat data, 2.5 billion tons of waste have been generated in the EU (EC-28) by 2016 (Fig. 1). More than 70% of it is in 10 countries: Germany, France, England, Poland, Romania, Italy, Sweden, the Netherlands, Spain, and Finland. [2]

The chart shows that in 2016 the volume of waste generated in these countries was as follows (mln tons): Germany – over 400, in France – 300, in Poland, Romania – about 200, Italy – more than 160, Netherlands, Sweden – over 140, Spain, Finland – more than 120. In such EU countries as Turkey, Greece, Belgium, Austria, Serbia 60-70 million tons of waste was generated, Czech Republic, Estonia, Denmark – more than 20 million tons, Hungary, Ireland, Portugal – 14, 15, Luxembourg, Slovakia, Norway – 10-11. From 1 to 6 million tons are generated in other countries. In Ukraine, excluding the occupied Crimea and territories of the Donbas, almost 300 million tons of waste was generated in 2016, which is less than in Germany and the same level as in France and the United Kingdom.

The State Statistics Service of Ukraine keeps records of waste generation and accumulation in accordance with the National Waste Classifier, which is based at the same rules as the National Classifier of Products and Services that classifies the waste by its origin. Waste is classified according to different parameters (by hazard classes, types of economic activity and households, waste categories, required disposal operations). The same inventory strategy is used in the European Union.

Based on the State Statistics Service data [3], the chart in Figure 2 presents waste generation by types of economic activity in Ukraine in 2016.

The largest volumes of waste in Ukraine are generated by mining – 237.5 million tons (84.48%), and manufacturing industry – 34.1 million tons (12.13%) which includes metallurgical and chemical enterprises, food industry etc. Municipal waste amounts to 6 million tons (2.08%). For comparison, in advanced countries such as Germany and France, the largest volumes of waste are generated by construction and demolition of buildings – 220.5 and 224.4 million tons respectively, and the manufacturing industry – 55.9 and 22.1 million tons respectively. The household garbage volume is 37.4 mln tons in Germany and 29.2 mln tons in France (Figs. 3, 4), which is about 5 times more than in Ukraine [2].

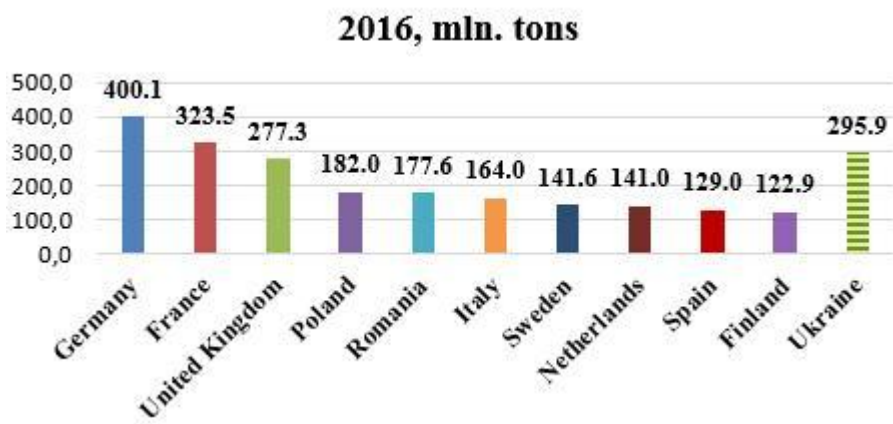
According to the State Statistics Service of Ukraine [1], the main sources of waste generation and accumulation in Ukraine are the following branches of economics (Table 2).

Thus, the largest amount of waste in Ukraine is generated by mining operations – over 300 million tons. It makes on average 79.5% of the total waste in different years. Over 80% of this volume is waste from mining of metal ores (iron, manganese, and titanium-zirconium ones).

According to the Waste Classifier DK 005-96, the group of metal ore mining waste in Ukraine include mining waste and sludges, enrichment tails of iron ores, residues (dust, powder, etc.) of iron ore, sinter and iron flux production, non-ferrous metal ore (manganese) enrichment waste. Uranium and thorium ores belong to another classification group.

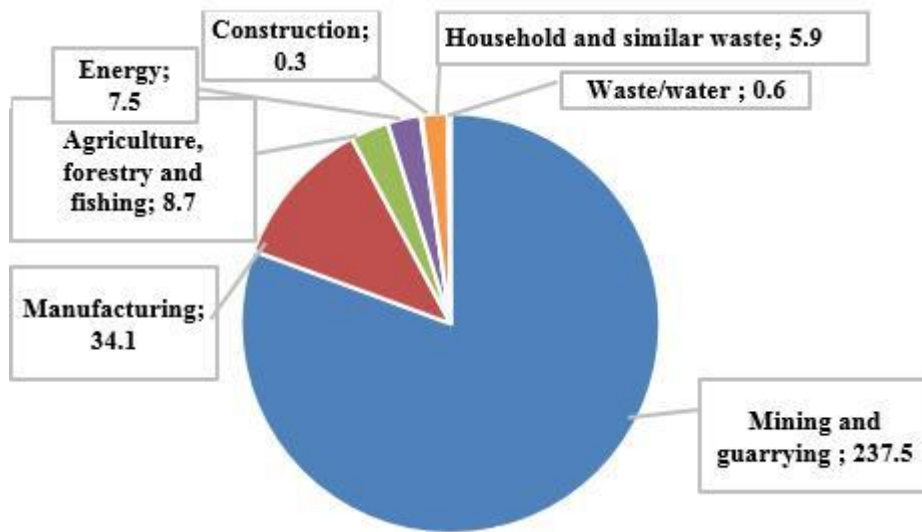
The group of hard coal, lignin and peat mining waste also includes substandard coal, sludge and tails from concentrating mills etc. Other group of waste generated at Ukrainian enterprises comprises waste from mining of granite, limestone, chalk, dolomite, refractory clay, building stone and others. The waste is in the form of powder, chips and debris.





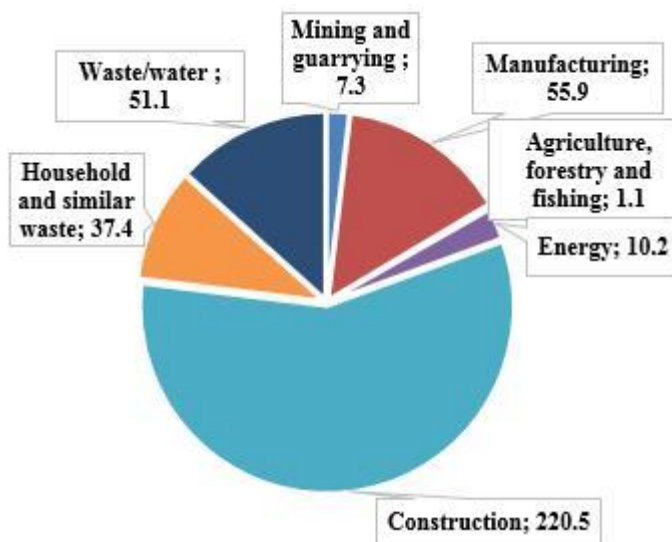
**Fig. 1.** Waste generation in EU countries and Ukraine, 2016, mln tons.

**Рис. 1.** Утворення відходів у країнах ЄС та Україні, 2016 р., млн. тонн.



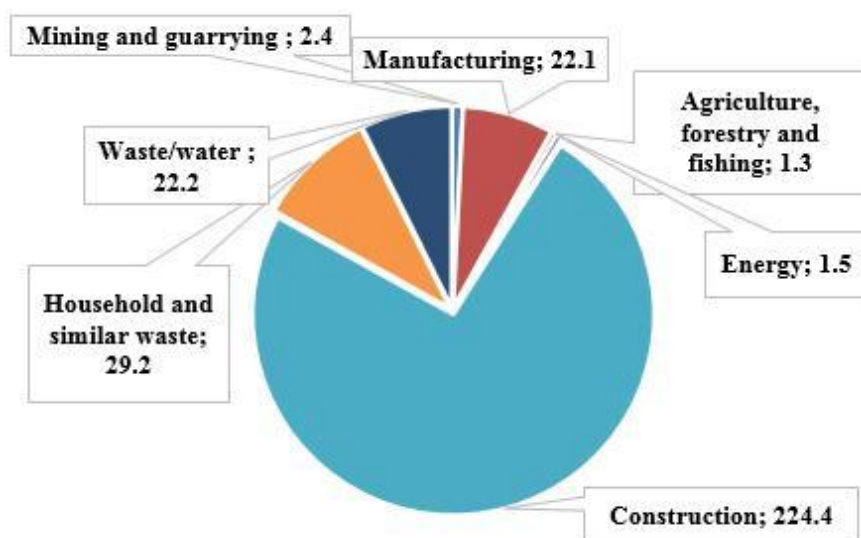
**Fig. 2.** Waste generation by types of economic activity in Ukraine, 2016, mln tons.

**Рис. 2.** Утворення відходів за видами економічної діяльності в Україні, 2016 р., млн. тонн.



**Fig.3.** Waste generation by types of economic activity in Germany, 2016, mln. tons

**Рис.3.** Утворення відходів за видами економічної діяльності у Німеччині, 2016 р., млн. тонн



**Fig. 4.** Waste generation by type of economic activity in France, 2016, mln. tons

**Рис. 4.** Утворення відходів за видами економічної діяльності у Франції, 2016, млн. тонн

**Table 2.** Dynamics of waste generation by types of economic activity in Ukraine, mln tons

**Табл. 2.** Динаміка утворення відходів за видами економічної діяльності в Україні, млн тонн

<i>Branches of economics</i>	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Total</b>	450.73	448.12	355.00	312.27	295.87	366.05	352.33
<b>Type of economic activity</b>	442.76	439.10	348.69	306.21	289.52	360.20	346.79
<b>Agriculture, hunting, and provision of related services</b>	10.2	10.3	8.4	8.7	8.7	6.2	6.0
<b>Mining (Total)</b>	335.7	341.2	297.2	252.1	237.3	313.6	301.3
Mining of metal ores	282.9	289.7	281.5	238.1	222.5	293.7	282.5
Mining of hard coal, lignin and peat	38.9	42.7	13.0	12.1	10.5	12.9	10.8
Mining of other ores	13.9	8.8	2.7	1.9	4.3	7.0	8.0
<b>Manufacturing industry (Total)</b>	69.80	66.00	29.50	25.60	28.20	29.60	28.80
Iron and steel production	59.0	60.3	23.4	20.7	22.3	22.0	21.8
Chemical industry	3.5	2.0	1.1	0.7	0.8	1.2	1.2
<b>Food industry</b>	8.7	4.3	5.8	5.1	5.7	6.8	6.2
<b>Other branches of mining industry</b>	4.9	5.4	4.5	4.5	5.3	2.2	2.3
<b>Production and distribution of energy, gas and steam, and air conditioning</b>	9.8	9.3	6.0	6.6	7.5	6.2	6.3
<b>Other types of economic activities</b>	10.9	5.8	5.0	2.2	1.8	2.0	1.6
<b>Households</b>	8.0	9.0	6.3	6.0	6.3	5.9	5.5

On average, the processing industry generates 11.76% of waste, over 75.7% of which come from the metallurgical industry (blast-furnace, steelmaking and ferroalloy slags and sludges, etc.).

An important source of metal resources is the waste generated from extraction of metal from ore and its production at metallurgical plants.

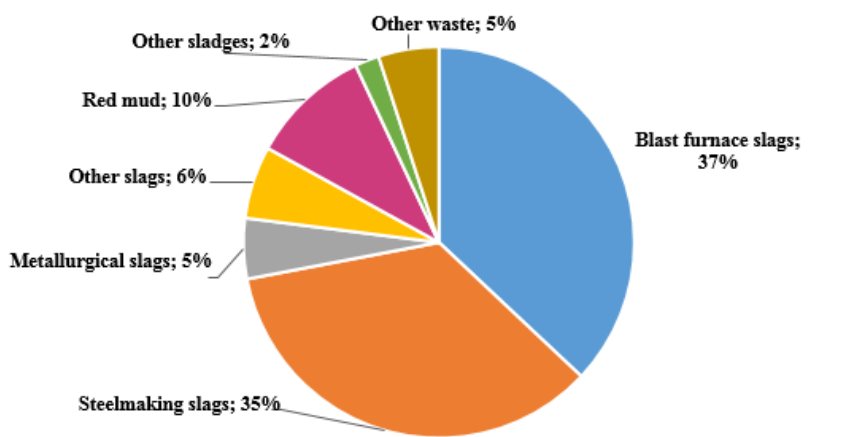
By 2011, enterprises that mine metal ores had accumulated 5.0 billion tons of sludge and tails from iron ore enrichment, 4.0 billion tons of waste from iron ore

quarry mining, and 279 million tons of sludge and tailings from non-ferrous metal ore (manganese) enrichment.

The structure of waste containing metals that has been accumulated by the mining and metallurgical industries is shown in Fig. 5,6 [4, 5].

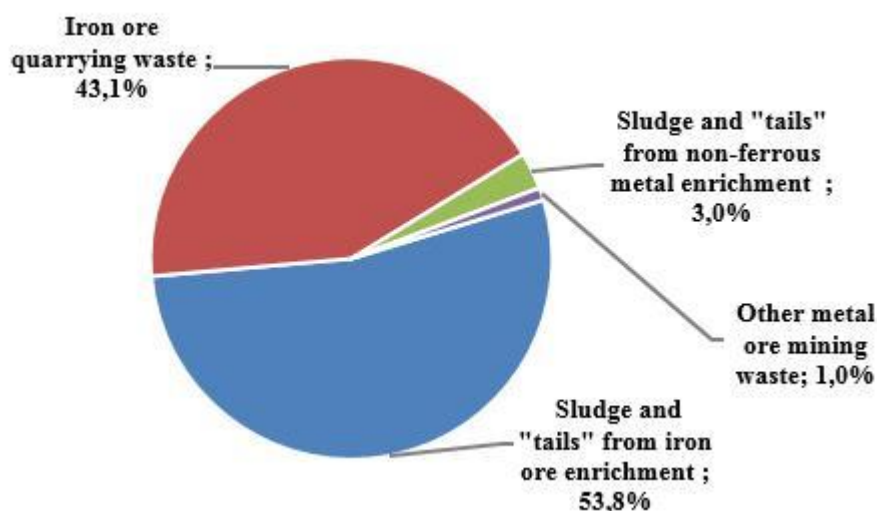
The predominant part of the waste (79%) is metallurgical and ferroalloy slags. Metallurgical sludge is the dust captured by air purifying equipment using liquid filters. It

is stored in sludge collectors. After settling, the water is discharged into the surface water bodies, while the solids, if not reused, are accumulated in sedimentation tanks. Red sludges are generated at two enterprises – Mykolaiv alumina refinery and Zaporizhzhia aluminum processing plant which produce alumina from bauxite. As can be seen from the chart, the red sludge makes 10% of the total waste from the major metal production.



**Fig. 5.** Structure of accumulated waste from production of major metals, %

**Рис. 5.** Структура накопичених відходів від виробництва основних металів, %



**Fig. 6.** Structure of metal-containing waste accumulated by the mining and metallurgical industries, %

**Рис. 6.** Структура металовмісних відходів, накопичених гірничорудною та металургійною галузями, %

One of the ways to reduce the amount of waste at the stage of extraction and enrichment of the metal ores in Ukraine is the integrated use of the mineral resources and the utilization of enrichment waste.

Thus, the annual generation of production waste from iron ore mining processing amounts to more than 80 million tons. Over 70 million tons of this amount are piled in waste heaps. The general amount of the accumulated waste is more than 4 billion tons. In the case of their selective extraction and separate storage, the following types of production can be obtained from the overburden: talcum concentrate from talc-containing shale, garnet concentrate from garnet-containing shale, muscovite concentrate from muscovite-biotite shale, muscovite quartzite and quartz-muscovite shale, pyroxene concentrate from pyroxenite, expanded clay, ceramics and pottery from kaolin clay bricks, building sand, limestone tiles, natural

pigments (ferrous oxide, ocher, seladonite etc.). The annual generation of the enrichment waste is over 130 million tons. Over 5 billion tons of such waste have been accumulated in the tailing ponds. By recycling of the enrichment tailings, ferrous concentrate and construction sand will be produced. It will also clear the place for additional 0.4 million m<sup>3</sup> of tailings.

Clay, sands and limestone-shells from the overburden can be attributed to the resource potential of manganese ore production waste in Ukraine, which can be selectively extracted and subsequently used in the national economy. In addition, more than 300 million tons of manganese-containing sludge have been accumulated in sludge storage facilities, with a mass fraction of Mn 10.5 - 17.5%. By sludge enrichment applying different schemes, it is possible to obtain manganese concentrate with a mass fraction of Mn from 35-41% (high-gradient magnetic sep-

aration with flotation) to 50% (magnetic-chemical technology) with an extraction of Mn 65-68% and 64%, respectively.

The enrichment waste prevail in the total amount of wastes from extraction and enrichment of heavy mineral titanium-zirconium sands. The overburden from the development of titanium-zirconium placer deposits in Ukraine (clay, loam, sand) is acceptable to be used for reclamation works.

Ore minerals in the technogenic sands of the Malyshevskiy deposit (the Volnogorsk MMC) are represented by zircon, rutile, leucosen and ilmenite. Mostly they are concentrated in the fraction – 0.16 + 0.06 mm. Disten, sillimanite, staurolite and tourmaline have relatively significant contents.

Studies of the material composition of the waste from the Irshan group of deposits have revealed that 60 wt.% of sands are represented by 0.5 + 0.125 mm grains; 5-15 wt.% is the metallic fraction, 85-95 wt.% – the non-metallic one.

The ore minerals are mainly ilmenite, rutile, ilmenorutil and zircon. The presence of zircon as the main mineral carrier of zirconium. We consider that these technogenic sands can be used to produce titanium and zirconium as well as quartz sand.

Eurostat and the State Statistics Committee of Ukraine keep records of waste generation by material as

well. Subdivision of wastes by material based on EU and Ukrainian data (2016) is presented in Table 3 [2, 3].

As indicated in table 3, over 2 billion tons of waste is generated annually in EU countries. In 2016, the total volume of waste generated in all 28 EU countries was 2.45 billion tons. 78.87% (1935.97 million tons) of this amount was generated in 9 countries: Germany, France, England, Poland, Romania, Italy, Sweden, the Netherlands and Spain. 295.85 million tons were generated in Ukraine, which is comparable to the volumes generated in France and Great Britain. Mineral and solidified waste constitutes the largest part of the total waste generated in all countries – from 39.91% in Italy to 80.92% in France. In Ukraine, this percentage is 76.4, which is less than in France, Germany and Romania. Thus, the amount of mineral and solid waste in Ukraine is equal to that in Germany and France, and the volume of animal and plant waste is similar to that in Germany and Netherlands.

In the EU countries, a considerable percentage of waste is generated from waste recycling – from 5.95% in Netherlands to 15.55% in the United Kingdom. In Ukraine, this category of waste amounts to 0.07%. The category “Equipment”, in contrast to the EU countries, is not registered in our statistics. This suggests that waste recycling legislation is not effective in Ukraine. The Waste Act states that waste is any substance, material and object generated during production or consumption; products that have completely or partially lost their consumer properties and cannot be used at the place of their production or detection, and which the owner has an intention or should recover or dispose. More than 50% of industrial waste generated from the production process in Ukraine has been accumulated at special sites for decades.

Fig.7 shows waste accumulation in different regions in Ukraine is very non-uniform [3].

The chart shows the volume of waste accumulated in different regions as of 2016. In accordance with the volume of accumulated waste, the regions were divided into 3 groups. The first includes areas accommodating hundreds of millions of tons of waste, the second – tens of millions of tons, the third – less than 10 million tons.

Having the well-developed industry Dnipropetrovsk region accommodates the largest volumes of waste. The plants extract and enrich iron, manganese, titanium-zirconium ores, and coal. There are also metallurgical and ferroalloy plants.

As can be seen from the chart, Dnipropetrovsk region accumulated 10 billion tons of waste at the disposal sites.

According to our estimates, more than 90% of them is waste from extraction, enrichment and processing of iron and manganese ores (Kryvbas mining and processing integrated plant, Nikopol manganese ore field and metallurgical plants).

In Donetsk region, at the territory controlled by the Ukraine authorities, most of the waste is accumulated at the coal mining and enrichment plants, coke plants and metallurgical plants. Dokuchaiv flux-dolomite plant, which accumulated huge amounts of waste by 2013, is

located at the temporarily occupied territories and the data are not available.

In Kirovohrad region, 99.9% of waste is accumulated at three enterprises: Petrivskiy quarry of the Central mining and processing complex, gulch “Shcherbakivska” and mine “Inhul’ska” of the Eastern mining and processing plant. Waste at the disposal sites of the Eastern mining and processing plant. Petrivskiy quarry’s disposal sites accommodate almost 80% of the waste accumulated in Kirovohrad region.

In Lviv region over 96% of waste is accumulated at four enterprises: JSC “Lviv Coal Company”, 6 mines of SE “Lvivuhillia”, Novoiavorivske SE “Ekotransenergo” and Dobrotvir’ska TPP.

In Zaporizhzhia region, almost 90% of waste was accumulated at 5 enterprises, i.e. JSC “Zaporizhstal (metallurgical (iron) slag and sludge), Zaporizhzhia TPP (coal ash), LLC “Remondis Zaporizhzhia” (household waste), JSC “Zaporizhzhia Ferroalloy Plant” (ferroalloy slag and dust from gas purification plants) and JSC “Zaporizhzhia Aluminum Production Plant” (over 10 million tons of red sludge).

In Luhansk region, at the territory controlled by the Ukrainian authorities, there are coal enterprises which generate coal mining and enrichment waste.

The second group comprises the Ukrainian regions which accommodate the most powerful TPPs (Trypilska, Zmiiv’ska, Ladyzhyn’ska, and Burshtyn’ska). These TPPs produce 60-70% of the total waste generated in a region.

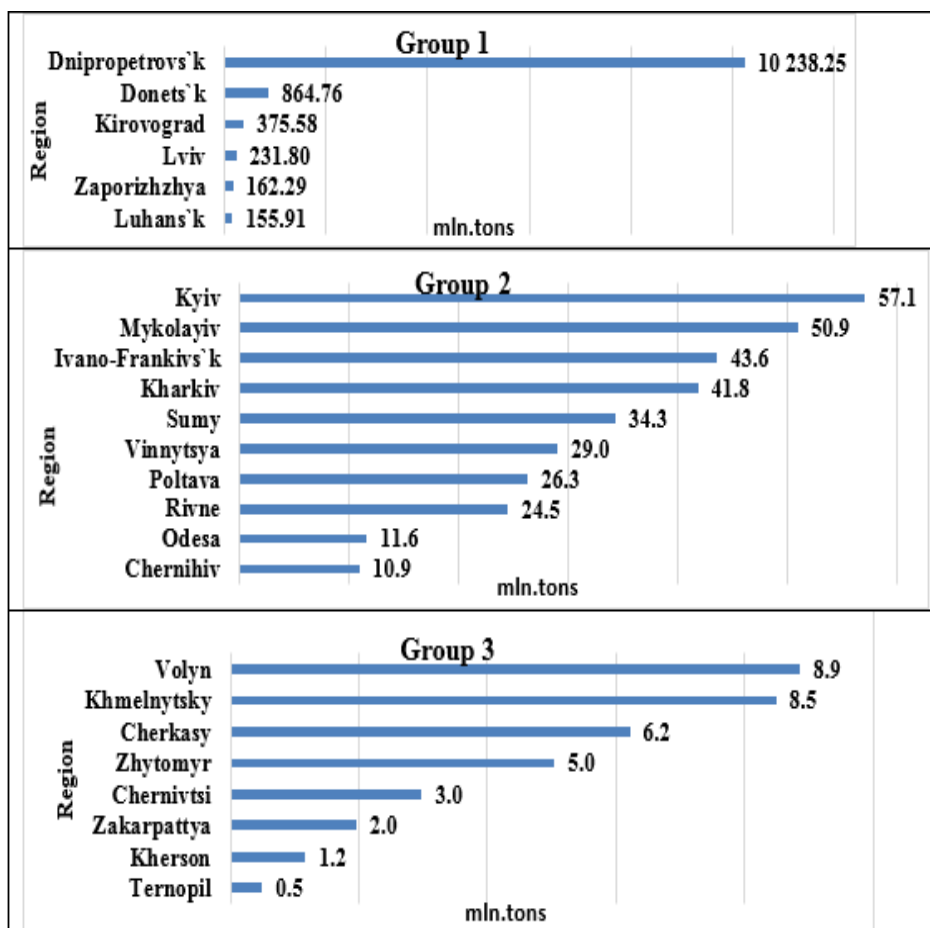
The third group includes regions in which 70-99% of the total waste is municipal waste.

It should be noted that the volume of accumulated waste in Ukraine is much higher than the mentioned above. This is because the State Statistics Service receives information only from operating enterprises. Large volumes of waste are stored at enterprises abandoned after disintegration of the Soviet Union.

**Table 3.** Waste generation of materials in Ukraine and EU countries

**Табл 3.** Утворення відходів матеріалів в Україні та країнах ЄС

Country	Total volume in a country, mln tons	%	Mineral and solid waste, mln tons	%	Chemical and medical waste, mln tons	%	Animal and plant waste, mln tons	%	Sludges, mln tons	%	Reprocessing waste, mln tons	%	Equipment, mln tons	%
<b>Total EU, million tons</b>	<b>2454,72</b>	<b>100,00</b>	<b>1796,60</b>	<b>73,19</b>	<b>54,15</b>	<b>2,21</b>	<b>95,28</b>	<b>3,88</b>	<b>20,71</b>	<b>0,84</b>	<b>246,13</b>	<b>10,03</b>	<b>17,83</b>	<b>0,73</b>
Germany	400,07	16,30	261,39	65,33	8,92	2,23	15,62	3,91	1,49	0,37	39,38	9,84	2,43	0,61
France	323,47	13,18	261,76	80,92	4,96	1,53	11,81	3,65	1,21	0,37	34,90	10,79	2,44	0,75
England	277,26	11,29	141,64	51,09	4,80	1,73	10,29	3,71	4,17	1,50	43,11	15,55	3,80	1,37
Poland	182,01	7,41	122,71	67,42	2,99	1,64	3,19	1,75	0,66	0,36	13,56	7,45	0,70	0,39
Romania	177,56	7,23	163,36	92,00	0,95	0,54	0,86	0,49	0,20	0,11	5,82	3,28	0,13	0,08
Italy	164,00	6,68	65,46	39,91	14,29	8,71	7,85	4,79	6,08	3,70	28,10	17,14	3,03	1,85
Sweden	141,62	5,77	101,83	71,90	1,29	0,91	2,38	1,68	0,40	0,28	6,31	4,45	0,85	0,60
Netherlands	141,02	5,75	104,04	73,77	2,40	1,70	15,20	10,78	0,66	0,47	8,39	5,95	0,54	0,39
Spain	128,96	5,25	67,03	51,98	2,66	2,06	9,14	7,08	1,46	1,13	12,56	9,74	1,21	0,93
Amount	1935,97	78,87	1289,21		43,26		76,35		16,32		192,14		15,13	
Other countries	518,75	21,13	507,39	26,81	10,89	97,79	18,93	96,12	4,39	99,16	53,99	89,97	2,70	99,27
<b>Ukraine</b>	<b>295,87</b>		<b>226,20</b>	<b>76,4</b>	<b>1,44</b>	<b>0,49</b>	<b>13,89</b>	<b>4,69</b>	<b>3,90</b>	<b>1,32</b>	...		...	



**Fig. 7** Regional distribution of waste in Ukraine, 2016

**Рис. 7.** Регіональний розподіл відходів в Україні, 2016 рік

According to the Ministry of Energy and Environmental Protection data, 35 billion tons of waste have been accumulated in the country. 14 of the largest waste generators are located in Dnipropetrovsk region, 9 - in Donetsk, 3 - in Poltava, 2 in Kirovohrad and Zaporizhia, and 1 in Ivano-Frankivsk, Mykolaiv, Ternopil and Lviv regions. 6 out of 35 largest waste generators in 2018 are Kryvbas mining and processing enterprises which exploit iron ore deposits (Table 4) [6].

The enterprises listed in the table, except for PJSC “Ilyich Iron and Steel Works”, are the mining and processing plants that predominantly accumulate overburden, iron and manganese ore enrichment waste. Mineralogy and chemical composition of some mineral resources have been studied and described in detail. Enrichment technologies have been developed under laboratory conditions. Therefore, the problem of complex use of the deposits in order to reduce technogenic impact is predominantly the economic and political one. Extraction of iron ore concentrate from the enrichment waste at the Central mining and processing complex (Kryvyi Rih) has shown that its cost is 40% lower than the concentrate extracted from the quarried ore; its quality is only slightly lower.

We believe that it is possible to reduce the technogenic impact on the environment in the areas of intensive use of mineral resources by integrated use of mineral deposits. It depends on the legislation and the willingness of business to invest in diversification of production.

**Table 4.** Largest waste generators and polluters of the environment

**Табл 4.** Найбільші генератори відходів та забруднювачі навколишнього середовища

№	Company name	Generated waste, mln. tons, 2018
1.	Northern Mining and Processing Plant	81.34
2.	Inhulets Mining and Processing Plant	63.48
3.	Central Mining and Processing Plant	61.56
4.	ArcelorMittalKryvyiRih	27.65
5.	Southern Mining and Processing Plant	26.92
6.	Yerystivskyi Mining and Processing Plant“	14.95
7.	Novotroitske Ore Mining Company	6.74
8.	Ilyich Iron and Steel Works	6.23
9.	“Ukrmechanobr” Ore Mining and Processing Integrated Plant	3.86
10.	Pokrovskyi Mining and Processing Plant	3.26
11.	Total	<b>295.99</b>

## Conclusions

According to the State Statistics Service more than 12 billion tons of waste have been accumulated in Ukraine by 2016. It includes 12 million tons of household waste and 0.6 million tons of hazardous waste. The annual generation of waste is over 200 million tons including more than 11 million tons of household waste and 0.6 million tons of hazardous waste.

2.5 billion tons of waste are generated annually in the EU countries. Over 70% of it is produced in 10 countries: Germany, France, England, Poland, Romania, Italy, Sweden, Netherlands, Spain, and Finland.

In Ukraine, the annual generation of waste from economic activity and households is less than in Germany and is at the same level as in France and the United Kingdom. In other EU countries these values are smaller.

The largest volumes of waste in Ukraine are generated from the extraction of minerals – 237.5 million tons (84.48%) and the manufacturing industry (metallurgical and chemical enterprises and food industry) – 34.1 million tons (12.13%). Households produce only about 6 million tons (2.08%).

In EU countries such as Germany and the United Kingdom, the construction and demolition of buildings and the processing industry produce the largest volumes of waste.

By major classes of materials, the largest amount of waste both in Ukraine and in the EU countries is mineral waste [5], as well as waste rock derived from dredging. In Ukraine, it is mainly soil-forming materials and other sedimentary rock that occur at the top of the geologic cross-section, in Germany and France – construction and demolition waste.

In Ukraine, combustion waste (slag and TPP sludge) makes up over 6%, animal and plant waste – about 3%, industrial water sediments, household and similar waste,

## Reference

1. Статистичний збірник, (2019), Довкілля України за 2018, available at: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2019/zb/11/Zb\\_dovk\\_2018.pdf](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/11/Zb_dovk_2018.pdf)
2. Generation of waste by waste category (2019), available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00106/default/table?lang=en>
3. Статистичний збірник, (2018), Довкілля України за 2017, available at: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2018/zb/11/zb\\_du2017.pdf](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/11/zb_du2017.pdf)
4. Національна доповідь про стан навкол.середовища України в 2010р. К:Центр екологічної інформації та освіти., 2011. с.131
5. Національна доповідь про стан навкол.середовища України в 2011р. (2012), Міністерство екології та природних ресурсів України, LAT & K, с. 141.
6. ТОП-100 найбільших підприємств-забруднювачів (2019), available at: <https://menr.gov.ua/news/34251.html>

metallic waste, mixed and non-differentiated materials and other wastes make less than 2%.

In the EU, a considerable percentage of waste is generated from waste recycling – from 5.95% in Netherlands to 15.55% in the United Kingdom. In Ukraine, this category of waste amounts to 0.07%. The category

“Equipment”, in contrast to the EU countries, is not registered in our statistics.

In accordance with the volume of accumulated waste, the regions were divided into 3 groups. The first includes areas accommodating hundreds of millions of tons of waste, the second – tens of millions of tons, the third – less than 10 million tons.

Having well-developed industry Dnipropetrovsk region accumulated the largest volumes of waste. This region accommodates huge plants that extract and enrich iron, manganese, titanium-zirconium ores and coal as well as metallurgical and ferroalloy plants.

The volume of waste accumulated in Dnipropetrovsk region is 14 times larger and in Donetsk region almost 1.5 times larger than the national average in

Ukraine. In all other regions the figures are below the national average.

The impact of industrial waste on the environment can be reduced by application of innovative technologies in ore extraction and enrichment, and in metallurgical industry. It will increase the degree of extraction of useful components from the mineral resources, improve the monitoring of waste disposal sites, i.e. the chemical and mineralogical composition of the waste, and its physical properties for their further industrial use.

## Reference

1. Statistical yearbook (2019) Environment of Ukraine, available at: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2019/zb/11/Zb\\_dovk\\_2018.pdf](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/11/Zb_dovk_2018.pdf)
2. Generation of waste by waste category (2019), available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00106/default/table?lang=en>
3. Statistical yearbook, (2018), available at: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2018/zb/11/zb\\_du2017.pdf](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/11/zb_du2017.pdf)
4. National Report on the State of the Environment of Ukraine in 2010.(2011), K: Center for Environmental Information and Education, p.131.
5. National report on the state of the environment in Ukraine in 2011. (2012), Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, LAT & K, p. 141.
6. Top 100 largest pollutants (2019), available at: <https://menr.gov.ua/news/34251.html>

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ УТВОРЕННЯ І НАКОПИЧЕННЯ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ ЄС

Губіна В.Г., канд. геол.-мін. н., ст. н. с., пр. наук. сп., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», gvg131619@gmail.com

Заборовський В.С., н.с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Мицюк Н.Б., м.н.с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», porov\_67@voliacable.com

Губін Г.Г., к.т.н, доцент, Криворізький національний університет

*У статті проаналізовано об'єм утворення та накопичення відходів в Україні та європейських країнах на підставі аналізу статистичних даних щодо утворення відходів в країнах ЄС (ЄС-28) і Україні. Наведено обсяги щорічного утворення та накопичення відходів за різною класифікацією, в т. ч. за класами небезпеки, видами економічної діяльності, матеріалами, з яких вони складаються. Показано, що в Україні до 2013 р. щорічно утворювалось понад 400 млн. т відходів, у тому числі понад 1 млн. т небезпечних відходів та понад 12 млн. т побутових. Останніми роками, після окупації частини Донбасу і Криму, утворюється близько 300 млн. т, у т. ч. понад 0,5 млн. т – небезпечних та 12 млн. т – побутових. В країнах ЄС понад 70% відходів утворюється в 10 країнах: Німеччині, Франції, Англії, Польщі, Румунії, Італії, Швеції, Нідерландах, Іспанії та Фінляндії. В Україні за видами економічної діяльності найбільші обсяги відходів утворюються при видобуванні мінеральної сировини та в переробній промисловості, найменші – в процесі очищення води та при будівництві та знесенні будівель. В країнах ЄС-28 ці показники мають децю інший характер. Наприклад, у Німеччині найбільше відходів утворюється при знесенні будівель і в переробних галузях економіки, найменше – в сільськогосподарському, лісовому та рибному господарствах. За категоріями матеріалів, з яких вони складаються, в країнах ЄС і в Україні найбільше утворюється і накопичується мінеральних і затверділих відходів. В Україні найбільші обсяги відходів утворюються і накопичуються у Дніпропетровській, Донецькій, Запорізькій областях, де розташовані підприємства з видобування та збагачення залізних та марганцевих руд, титано-цирконієвих розсипів, вугілля, доломіту, металургійного ванняку, а також металургійні комбінати і феросплавні заводи, у виробничих циклах яких утворюються шлаки, шлами та промаслена окалина. Залежно від кількості відходів регіони України класифіковано на три групи. До першої віднесено регіони з обсягами накопичених відходів – мільярди-сотні мільйонів т накопичених відходів, до другої – десятки мільйонів тонн, до третьої – менше 10 млн. т.*

**Ключові слова:** відходи, види економічної діяльності, джерела утворення відходів, накопичення відходів, «хвости», шлаки, шлами

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБРАЗОВАНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ОТХОДОВ В УКРАИНЕ И СТРАНАХ ЕС

Губина В.Г., канд. геол.-мин. н., ст. н. с., вед. н. с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», gvg131619@gmail.com

Заборовский В.С., н.с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

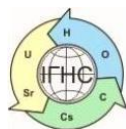
Мицюк Н.Б., м. н. с., ГУ " Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Губин Г.Г., к.т.н, доцент, Криворожский национальный университет

*В статье проанализированы объемы образования и накопления отходов в Украине и европейских странах на основании анализа статистических данных по образованию отходов в Украине и странах ЕС (ЕС-28). Приведены объемы ежегодного образования и накопления отходов по разным классификациям: по классам опасности, видам экономической деятельности, материалам, из которых они состоят. Показано, что в Украине до 2013 г. ежегодно образовывалось свыше 400 млн. т отходов, в том числе более 1 млн. т опасных отходов и более 12 млн. т ТБО. В последние годы, после оккупации части Донбасса и Крыма, образовывается около 300 млн. т, в т. ч. более 0,5 млн. т – опасных и 12 млн. т – бытовых. В ЕС более 70% отходов приходится на 10 стран (Германия, Франция, Англия, Польша, Румыния, Италия, Швеция, Нидерланды, Испания и Финляндия). В Украине по видам экономической деятельности наибольшие объемы отходов образуются при добыче минерального сырья и в перерабатывающей промышленности, наименьшие – в процессе очистки воды и при строительстве и носе зданий и сооружений. В странах ЕС-28 эти показатели имеют несколько иной характер. Например, в Германии больше всего отходов образуется в строительной отрасли и в перерабатывающих отраслях экономики, меньше всего – в сельскохозяйственной, лесной и рыбной отраслях. По категориям материалов, из которых они состоят, в странах ЕС и в Украине наибольшие объемы отходов – это минеральные и твердые отходы. В Украине наибольшие объемы отходов образуются и накапливаются в Днепропетровской, Донецкой, Запорожской областях, где расположены предприятия по добыче и обогащению железных и марганцевых руд, титано-циркониевых россыпей, угля, доломита, металлургического известняка, а также металлургические комбинаты и ферросплавные заводы, в производственных циклах которых в отходы попадают шлаки, шламы и промасленная окалина. В зависимости от количества отходов регионы Украины классифицированы на три группы. К первой отнесены регионы с объемами накопленных отходов – миллиарды - сотни миллионов тон, ко второй – десятки миллионов тонн, к третьей – менее 10 млн. т.*

**Ключевые слова.** отходы, виды экономической деятельности, источники образования отходов, накопление отходов, хвосты, шлаки, шламы.





<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.033>

УДК 504.064.4:622.34

**Пігулевський П.Г., Подрезенко І.М., Анісімова Л.Б., Тяпкін О.К.**

**Пігулевський П.Г.**, д.геол.н., Інститут геофізики НАН України, <https://orcid.org/0000-0001-6163-4486>, [Pigulevskiy@nas.gov.ua](mailto:Pigulevskiy@nas.gov.ua).

**Подрезенко І.М.**, к. геол.-мін. н., Інститут проблем природокористування та екології НАН України.

**Анісімова Л.Б.**, к. біол.н., Інститут проблем природокористування та екології НАН України

**Тяпкін О.К.**, д.геол.н., НТУ «Дніпровська політехніка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ СУКУПНОСТІ ТЕХНОГЕННИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ГІДРОГЕОХІМІЧНИЙ СТАН ТЕРИТОРІЇ ПІВДНЯ КРИВБАСУ

*В умовах значного зменшення кількості стічних вод, пов'язаного з падінням промислового виробництва в Україні в останні десятиліття, зменшилася мінералізація поверхневих вод р. Дніпро та інших річок його басейну, що в цілому сприяє їх оздоровленню. У той же час гірничодобувна діяльність (в т.ч. залізорудні підприємства) продовжують бути одними з найбільших забруднювачів довкілля. У породах залізорудних родовищ зустрічаються Ga, Ge, Be, Sn, V, Mn, Ca, Cu, Ti, Cr, Ni, Pb, Mg, Ba, Zn, Zr, Au та інші хімічні елементи. Гірничодобувні підприємства часто межують із сільськогосподарськими угіддями, де в результаті внесення добрив і обробки рослин пестицидами в ґрунт потрапляють хімічні елементи різного ступеня небезпеки. Практично повне насичення конкретними елементами ґрунтів призводить до того, що отримана з добривами нова порція цих елементів може безперешкодно мігрувати в підземні водоносні горизонти (в основному в перший безнапірний водоносний горизонт) і в результаті змиву з водозбірної площі, в кінцевому рахунку, потрапляти в поверхневі водотоки і забруднювати їх. На прикладі Кривбасу показано, що внаслідок спільної дії факторів індустріальної (і, в першу чергу, гірничодобувної) і сільськогосподарської діяльності в цьому регіоні вже давно сформувалися нові стійкі природно-техногенні геосистеми, в яких найбільш уразливими елементами є поверхневі та підземні води і зона аерації. У сучасних умовах зменшення негативного впливу промислового (в т.ч. гірничого) виробництва все більш актуальним стає питання дослідження негативного впливу на довкілля діяльності агропромислового комплексу та визначення його частки у загальному техногенному навантаженні півдня Кривбасу. До основних забруднювачів ґрунту і підземних вод (а в подальшому – поверхневих вод і донних осадів) даного регіону, разом з відходами гірничодобувного виробництва, можна віднести добрива і пестициди, які надмірно внесені до ґрунту. Питання про забруднення сільськогосподарських угідь, що межують з об'єктами гірничого виробництва, вимагають детального комплексного вивчення, в т.ч. розробки методики розмежування впливу (вкладу) гірничо-промислового і аграрного комплексів у забруднення конкретної території.*

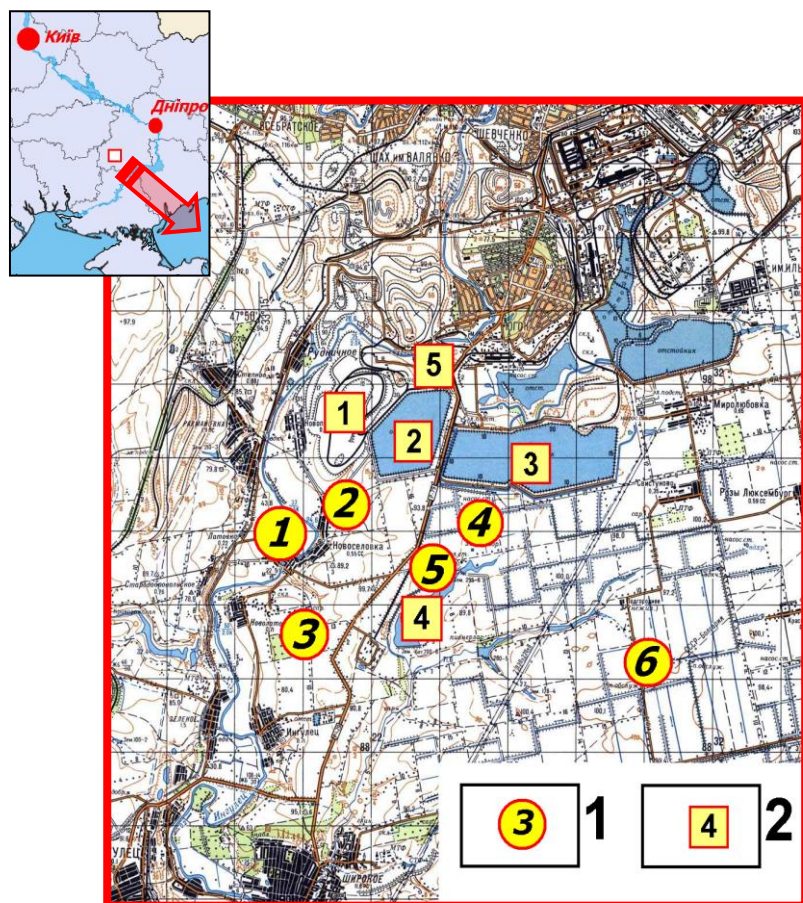
**Ключові слова:** гірниче виробництво, гірські породи, ґрунти, забруднювачі довкілля, поверхневі та підземні води, сільське господарство, хімічні добрива.

**Актуальність проблеми та методичні підходи до її вирішення.** Гірничодобувна діяльність (у т.ч. залізорудні підприємства) є одним із найбільших забруднювачів довкілля Кривбасу. У породах залізорудних родовищ є такі елементи як Ga, Ge, Be, Sn, V, Mn, Ca, Cu, Ti, Cr, Ni, Pb, Mg, Ba, Zn, Zr, Au та ін. У той же час гірничодобувні підприємства, особливо на півдні регіону, часто межують із сільськогосподарськими угіддями, де в результаті внесення добрив і обробки рослин пестицидами в ґрунт потрапляють хімічні елементи та сполуки різного ступеня небезпеки, які мігрують в підземні водоносні горизонти (здебільшого в перший безнапірний водоносний горизонт), а потім в поверхневі води, що призводить до їх забруднення. Разом із цим в результаті змивання хімічних компонентів з водозбірної площі забруднюючі речовини можуть потрапляти в поверхневі води і безпосе-

редньо. Основними джерелами забруднення територій сільськогосподарського використання є наступні токсини, що містяться в добривах: Cd, Mn, Cu, As, Cr, F, нітрати, нітрити і нітросо-сполуки та ін. Таким чином агропромисловий комплекс може значно збільшувати техногенне навантаження на територіях, прилеглих до гірничодобувних підприємств. В результаті основними причинами хімічного забруднення водного середовища та ґрунтів у Кривбасі є сукупний вплив гірничого виробництва та сільського господарства [1-3]. Здатність природного середовища до акумуляції, перетворення та поглинання різних елементів, у тому числі небезпечних, потребує більш детальних геохімічних досліджень, адже на сьогодні все ще залишаються маловивченими питання щодо поведінки багатьох хімічних елементів і сполук, які у достатньо ве-

ликих кількостях надходять у доквілля, в т.ч. від діяльності агропромислового комплексу.

Метою дослідження є вивчення комплексного впливу техногенних чинників від діяльності гірничого виробництва та сільського господарства на ґрунти, поверхневі та підземні води, які в свою чергу впливають на життєдіяльність гідробіотів та населення – на прикладі півдня Кривбасу. Оглядову мапу регіону досліджень наведено на рис. 1.



**Fig. 1.** Overview map of the research region in the South of Kryvbas.

1 – point-stations of geochemical soil testing (1 – on the right bank of the Ingulets river opposite Novoselivka village, 12 samples; 2 – to the south from the left bank dump of JSC «Southern GZK», 48 samples; 3 – between villages Novoselivka and Ingulets, 84 samples; 4 – between tailing pond «Obiednane» of JSC «Southern GZK» and JSC «ArselorMittal Kryvyi Rih», and Svystunovo beam, 48 samples; 5 – between Svystunovo beam and the Shyroke-Kryvyi Rih highway, 36 samples; 6 – along the road between villages Stepove and Svystunovo, 72 samples); 2 – main local natural and man-made objects in the context of the hydrogeochemical research (1 – left bank dump and 2 – tailings pond «Voikovo» of JSC «Southern GZK», 3 – tailings pond «Obiednane», 4 – storage pond of highly mineralized open pit and mine water in Svystunovo beam of SE «Kryvbasshakhtozakryttia», 5 – Hrushovata beam)

**Викладення основного матеріалу.** Порівнюючи основні показники водосховищ основної водної артерії України – р. Дніпро в кінці минулого століття, коли промисловість України ще працювала на повну силу, з показниками початку нового XXI століття, коли відбулося різке скорочення виробничих потужностей, можна помітити значне зменшення стічних вод з підвищеною мінералізацією по всьому басейну р. Дніпро. Це в свою чергу спричинило значне зменшення мінералізації води цієї річки, що можна проі-

Основною методикою проведених досліджень є графічно-аналітичні методи та різновиди хімічних аналізів проб ґрунтів, поверхневих і підземних вод, системний аналіз з урахуванням основ синергії та аналітичне узагальнення статистичних даних щодо основних природно-техногенних факторів, які впливають на гідросферу і ґрунти в межах складних техноекосистем гірничодобувних регіонів.

**Рис. 1.** Оглядова мапа регіону досліджень на півдні Кривбасу.

Умовні позначення: 1 – точки-станції геохімічного випробування ґрунтів (1 – на правому березі р. Інгулець, навпроти с. Новоселівка, 12 проб; 2 – на південь від лівобережного відвалу ПАТ «Південний ГЗК», 48 проб; 3 – між населеними пунктами с. Новоселівка та с. Інгулець, 84 проби; 4 – між хвостосховищем «Об'єднане» ПАТ «Південний ГЗК» та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і балкою Свистуново, 48 проб; 5 – між балкою Свистуново і шосе Широке-Кривий Ріг, 36 проб; 6 – уздовж дороги с. Степове – с. Свистуново, 72 проби); 2 – основні локальні природні і техногенні об'єкти в контексті проведених гідрогеохімічних досліджень (1 – лівобережний відвал та 2 – хвостосховище «Войково» ПАТ «Південний ГЗК», 3 – хвостосховище «Об'єднане», 4 – ставок-накопичувач високомінералізованих кар'єрних та шахтних вод у балці Свистуново ДП «Кривбасшахтозакриття», 5 – балка Грушувата)

люструвати на прикладі її середньої течії в районі м. Дніпро (табл. 1).

Це свідчить на користь того, що до основних забруднювачів ґрунтів регіону можна віднести добрива й пестициди, які застосовуються для обробки сільськогосподарських угідь. Внесені в ґрунт добрива лише на 30-60% використовуються рослинами, а інші 40-70% надходять у навколишнє середовище, підвищуючи його забруднення. В результаті практично повного насичення даними елементами ґрунтів регіону нова

«порція» хімічних елементів, отримана з добривами, може безперешкодно мігрувати в перший водоносний горизонт, а в результаті змивання з водозбірної площі, в остаточному підсумку, попадати в р. Інгулець. Туди

ж із хвостосховищ мігрують Р, РЬ, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, V і Mn. Таким чином забруднення поверхневих і підземних вод відбувається від спільної діяльності гірничого й агропромислового комплексів.

**Табл. 1.** Порівняння забруднюючих показників, які відображають роботу промисловості і сільського господарства на кінець XX століття і початок XXI століття (за даними Інституту проблем природокористування та екології НАН України – ІППЕ НАНУ)

**Table 1.** Comparison of polluting indicators that reflect the impact of industry and agriculture at the end of XX century and the beginning of XXI century (according to the data of Institute for Nature Management Problems & Ecology of NAS of Ukraine)

Показники	Середньорічні концентрації, мг/дм <sup>3</sup>			
	р. Дніпро (в межах м. Дніпро)		р. Дніпро, (нижче м. Дніпро)	
	кінець 1990-х років	2013-14 рр.	кінець 1990-х років	2013-14 рр.
сухий залишок	321	261	330	262
нітрати	8,3	4,2	2,6	4,7
нітри	0,01	0,09	0,08	0,10
аміак	0,1	1,5	0,3	1,5
фосфати	0,2	0,6	0,2	0,6

На теперішній час зі зменшенням обсягів промислового виробництва значним забруднювачем річок поступово стає сільське господарство. Суттєвий надлишок внесених добрив, просочуючись у підземні води (через свою високу розчинність) або в результаті поверхневого змивання, в кінцевому підсумку потрапляють в річки. Зокрема для Кривбасу таке забруднення особливо характерно для малих річок. За останні десятиліття у цьому регіоні спостерігається зменшення кількості стічних вод через суттєвий спад гірничо-металургійного виробництва. Відповідне зменшення мінералізації поверхневих вод, у першу чергу р. Інгулець (як приклад на рис.2 наведено часові зміни мінералізації води цієї річки вище і нижче балки Грушувата – основної «дрени» найбільших гірничих підприємств півдня Кривбасу – ПАТ «Південний ГЗК» та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»), позначилося на відтворенні річкової фауни. Так, за даними опитування місцевого населення, в Карачунівському водосховищі з'явилися раки. У цій річці збільшився вилов щуки, яка відноситься до хижих риб, і тому збільшення її кількості свідчить про зростання кормової бази. Також на берегах річки значно збільшилася кількість змій, що також свідчить про поліпшення екологічної обстановки в регіоні. Результати, наведені на рис.2, з одного боку вказують на зменшення мінералізації в р. Інгулець вже з 2007 р., а з іншого – на однакові межі змін показників мінералізації вод цієї річки вище і нижче балки Грушувата за останні 4 роки. З'ясування причин цього явища вимагає додаткових досліджень.

На прикладі міграції фосфору та азоту з водозбірних площ у підземні і поверхневі води можна показати їх негативний вплив на екологічний стан регіону досліджень. Сполуки фосфору і азоту є важливими показниками забруднення вод та належать до біогенних речовин у природних водах.

Раніше було встановлено, що азотні добрива вимиваються в колекторні і ґрунтові води в досить відчутних кількостях. Найбільший вміст азоту спостерігається у вегетаційний період – червень-вересень, тобто в період інтенсивного внесення азотистих добрив [4]. Аналогічна картина спостерігається і з розподілом вмісту фосфору в природних водах. Перший локальний максимум зростання концентрації загального фосфору в квітні-травні загальновідомий і пов'язаний з весняною повінню, коли фосфати вимиваються з водозбірної площі. У період з липня по вересень включно досить показово виділяється другий локальний максимум вмісту загального фосфору з істотним перевищенням гранично допустимих концентрацій (ГДК). Так, за даними ІППЕ НАНУ за 2015-2017 рр., вміст загального фосфору у воді р. Дніпро та її основних приток у межах Дніпропетровської області в цей період був у межах 1,184-1,805 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК ≤ 1,030 мг/дм<sup>3</sup>).

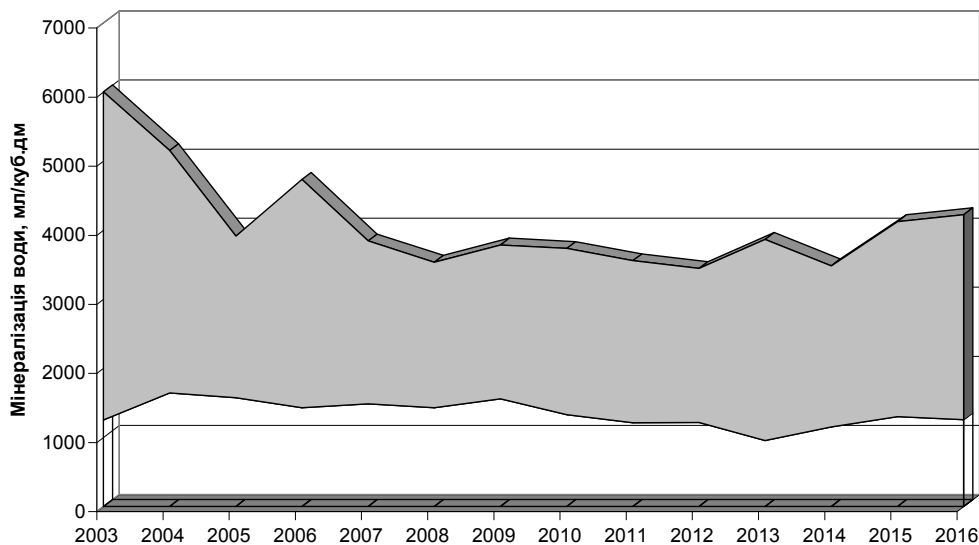
Вважається, що з інтенсифікацією вегетації водної флори в літній період пов'язане зменшення вмісту загального фосфору у воді, а з похолоданням та зменшенням світлового дня в осінній період – її відмирання, що супроводжується збільшенням вмісту фосфору в 5-10 разів [5,6]. Підтвердженням цього відмирання водної флори у вересні служать отримані дані ІППЕ НАНУ (2015-2017 рр.) різкого збільшення вмісту карбонатів кальцію і зменшення органічної складової у воді р. Дніпро та її основних приток у межах Дніпропетровської області. Тим не менш, не знайдено підтвердження того, що вміст фосфору в літній період в воді зменшився. Тобто це є додатковим доказом того, що підвищений вміст фосфору в літній період пов'язаний з його надходженням з полів (під час внесення фосфорних добрив) через водні колектори в річки регіону.

Основними джерелами забруднення сільськогосподарських територій є наступні токсини: в добривах – Cd, Mn, Cu, As, Cr, F, нітрати, нітроти, нітросполуки; а в пестицидах – нітросполуки, діоксини та їх похідні, As, Hg. Основні шляхи надходження у ґрунти «сільськогосподарського» забруднення зведені у табл. 2. У той же час в умовах Кривбасу значні території можуть забруднюватися токсинами, що виникають в результаті діяльності гірничодобувних (і, в першу чергу, залізрудних) підприємств. Так, постійними домішками в залістистих кварцитах і багатих залістистих рудах є фосфор і сірка. Вони обумовлені наяв-

ністю в руді апатитів фосфору, а в сульфідах – сірки. Також у залістистих рудах зустрічаються Ga, Ge, Be, Sn, V, Mn, Ca, Cu, Ti, Cr, Ni, Pb, Mg, Ba, Zn, Zr, Au та ін. Постійними мікроелементами-супутниками (у 80-100% випадків) є Mn, Cu, Ti, Zn, Cr, Ni і Ge. Особливо це відноситься до таких елементів як Cr – 4,7-78,7 мг/кг, Mn – 1,9-198,34 мг/кг та Ge – 0,2-9 мг/кг.

Ґрунтуючись на результатах попередніх досліджень [7], можна виділити основні елементи-забруднювачі територій в результаті розробки залізрудних родовищ Кривбасу (табл.3).

а



б

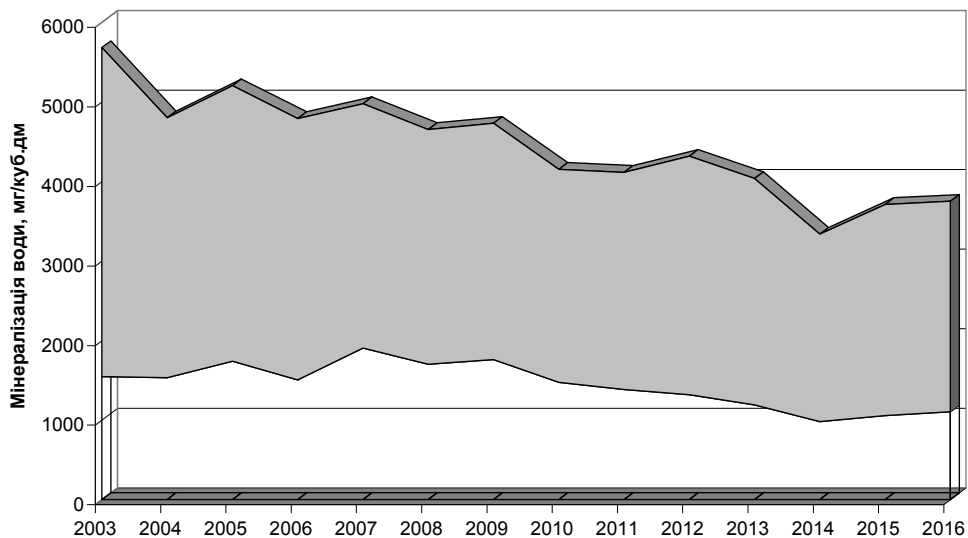


Рис. 2. Часові зміни мінералізації води р. Інгулець вище (а) і нижче (б) балки Грушувата (за даними ПАТ «Південний ГЗК»)

Fig.2. Temporal changes of water mineralization of Ingulets River above (a) and below (b) of the Hrushovat beam (according to the date of JSC «Southern GZK»)

Співставлення переліку основних елементів-забруднювачів, що виникли в результаті гірничого виробництва і сільськогосподарської діяльності, свід-

чить про їх близькість (табл. 3). Це може призвести до необґрунтованого перебільшення частки гірничого виробництва – як джерела в загальному забрудненні

суміжних сільськогосподарських територій. Для з'ясування геохімічного впливу гірничого виробництва на територію південного Кривбасу було досліджено динаміку змін вмісту Р, РЬ, Zn, Cu, Cr і Mn у чорноземах різних частин цього регіону (табл. 4-5).

Аналіз даних показав, що межі змін концентрацій елементів (Р, РЬ, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, V і Mn), які забруднюють чорноземні ґрунти на територіях південного Кривбасу, наближених до гірничих об'єктів, у т.ч. Лівобережного відвалу та хвостосховища «Войково» (ПРАТ «Південний ГЗК»), хвостосховища «Об'єднане» (ПАТ «Південний ГЗК», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг») і ставка-накопичувача високомінералізованих кар'єрних та шахтних вод у балці Свистуново (ДП «Кривбасшахтозакриття»), а також на територіях, віддалених від цих об'єктів, однакові.

Результати аналітичних досліджень (табл. 6) свідчать про відсутність суттєвих розходжень по вмісту Р, Cr, Mn та Cu, які є «сукупними» забруднювачами, утвореними в результаті функціонування гірничорудного та агропромислового комплексів (табл. 3), у р. Інгулець вище й нижче балки Грушувата (де відбувається скидання вод із хвостосховищ «Войково» ПАТ «Південний ГЗК», «Об'єднане» ПАТ «Південний ГЗК» та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»). Це підтверджує значне забруднення поверхневих вод регіону в результаті діяльності саме агропромислового комплексу. Таким чином, гідрогеохімічний стан території

півдня Кривбасу визначається сумарним суттєвим впливом як гірничорудного виробництва, так і агропромислового комплексу.

Додатково було проаналізовано результати апробування донних відкладень басейну р. Інгулець (за даними [8]). За даними спектральних аналізів в донних відкладеннях рр. Інгулець і Саксагань практично повсюдно присутні As, P, Cr, Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Mo, V, Mn, Bi, Ti, Zr, Fe, Se, Ba, Sc, Sr, Y, Yb, La, Li, вміст більшості з яких близький до фонового. Разом із тим можна відзначити групу пріоритетних елементів-забруднювачів: I класу небезпеки – Pb, Zn, Be, P, As, Se; II класу – Cr, Cu, Mo, Ni, Co, Bi, Li; III класу – V, Mn; IV класу – Ag, Fe. Зокрема за результатами даних аналітичних досліджень щодо розподілу As (який не є основним елементом-забруднювачем гірничорудної промисловості) в басейні р. Інгулець, можна зробити висновок, що основним джерелом його надходження є добрива, які внесені у ґрунт у період вегетації рослин. Про це зокрема свідчить перевищення вмісту As по відношенню до його ГДК влітку (липень) ніж взимку (січень) – в 2,7-3,5 рази. Про це також свідчить і перевищення ГДК у донних відкладеннях по As в річках Бічна (с. Валове, 7,5 ГДК) та Боковенька (сел. Великофедорівка, 6,5 ГДК), при тому, що води р. Боковенька відносяться до дуже чистих, а р. Бічна – до слабо забруднених [8].

**Табл. 2.** Основні шляхи надходження у ґрунти «сільськогосподарського» забруднення [6].

**Table 2.** The main ways of entering the soil of "agricultural" pollution.

Хімічний елемент	Надходження, мг / кг сухого ґрунту					
	при зрошенні стічними водами	з фосфатними добривами	з вапняком	з азотними добривами	з органічними добривами	з пестицидами
As	2-26	2,0-1200	0,1-24,0	2,2-120	3-25	22-60
Cd	2-1500	0,1-170	0,04-0,1	0,05-8,5	0,3-0,8	-
Co	2-260	1-12	0,4-3,0	5,4-12	0,3-24	-
Cr	20-40600	66-245	10-15	3,2-19	25,2-55	-
Cu	50-3300	1-300	2-125	1-15	2-60	15-50
F	2-7	8500-38000	300-740	-	-	18-45
Hg	0,1-55	0,01-1,2	0,05	0,3-2,9	0,09-0,2	0,8-42
Mn	60-3900	40-2000	40-1200	-	30-550	-
Mo	1-40	0,1-60	0,1-15	1-7	0,05-3	-
Ni	16-5300	7-38	10-20	7-34	7,8-30	-
Se	2-9	0,5-25	0,08-0,1	-	2,4	-
Pb	50-3000	7-225	20-1250	2-27	6,6-15	60
Sn	40-700	3-19	0,5-4	1,4-16	3,8	-
Zn	700-49000	50-1450	10-450	1-42	15-250	1,3-25

**Табл. 3.** Основні елементи-забруднювачі територій в результаті діяльності гірничого виробництва та агропромислового комплексу

**Table 3.** The main elements-pollutants of the territories as a result of mining and agro-industrial complex activities

Комплекси	Основні елементи-забруднювачі										
	P	Mn	Cu	Cr	РЬ	Zn	Co	Ge	Ni	Ti	Sn
гірничорудний	P	Mn	Cu	Cr	РЬ	Zn	Co	Ge	Ni	Ti	Sn
агропромисловий	P	Mn	Cu	Cr	РЬ	Zn	Cd	As	F	Hg	Sr

**Табл. 4.** Межі вмісту елементів (мг/кг) в різних частинах південного Кривбасу за 2010-2015 рр. (валова форма)  
**Table 4.** Content limits (mg/kg) in different parts of Southern Kryvbas in 2010-2015 (gross form)

Хімічний елемент	Межі вмісту елементів (валова форма)					
	Точка 1 <sup>*)</sup>	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 6
<b>P</b>	878-3000	500-3000	700-3000	500-1000	700-1000	700-1000
<b>Pb</b>	25-30	15-70	15-30	15-70	15-30	15-30
<b>Zn</b>	70-150	50-300	30-150	22-123	22-110	20-150
<b>Co</b>	15-22	7-25	10-25	5-25	15-22	8-20
<b>Ni</b>	30-45	10-70	10-50	30-70	45-50	30-50
<b>Cu</b>	20-50	30-50	30-45	20-35	20-52	20-35
<b>Cr</b>	50-110	25-134	30-115	50-110	70-110	25-115
<b>V</b>	50-100	50-194	50-100	20-112	70-122	70-100
<b>Mn</b>	230-700	230-756	193-700	500-700	350-700	150-700

**Примітка.** <sup>\*)</sup> Місцезнаходження точок-станцій геохімічного випробування ґрунтів – див. рис.1.

**Табл. 5.** Межі вмісту елементів (мг/кг) в різних частинах південного Кривбасу за 2010-2015 рр. (рухома форма)  
**Table 5.** Content limits (mg/kg) in different parts of Southern Kryvbas in 2010-2015 (mobile form)

Хімічний елемент	Межі вмісту елементів (рухома форма)					
	Точка 1 <sup>*)</sup>	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 6
<b>Zn</b>	1,12-8,52	1,05-11,10	0,87-4,41	1,26-3,28	0,92-3,53	0,61-7,88
<b>Co</b>	0,5-2,58	0,5-2,87	0,5-2,34	0,50-2,53	0,50-2,20	0,5-2,30
<b>Ni</b>	1,50-4,20	1,00-4,30	1,25-3,98	1,28-4,34	1,85-4,00	1,00-6,57
<b>Cu</b>	0,5-1,84	0,5-2,13	0,5-1,77	0,50-2,10	0,50-0,53	0,5-0,92
<b>Cr</b>	1,75-2,81	1,57-7,65	1,10-5,62	1,27-3,76	1,01-3,00	1,10-3,41

**Примітка.** <sup>\*)</sup> Місцезнаходження точок-станцій геохімічного випробування ґрунтів – див. рис.1.

**Табл. 6.** Зміни концентрації окремих мікроелементів у р. Інгулець, в мг/дм<sup>3</sup>  
**Table 6.** Changes in the concentration of separate microelements in the Ingulets River, mg/dm<sup>3</sup>

Рік	а) Елементи в р. Інгулець, вище скидання в балку Грушовата, мг/дм <sup>3</sup>			
	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>
2007	0,16-2,8	0,0011-0,0015	0,02-0,084	0,002-0,008
2008	0,09-0,6	0,0012-0,0016	0,047	0,002-0,13
2009	0,05-0,67	0,00107-0,0020	0,0110-0,0112	0,002-0,012
2010	0,072-0,63	0,00111-0,00122	0,0117-0,0120	0,0059-0,12
2011	0,14-0,33	0,00109-0,00120	< 0,005-0,0782	0,0026-0,0056
2012	0,080-0,516	0,00115-0,00142	< 0,005-0,018	0,0055-0,0074
2013	0,113-0,623	0,00142-0,00179	< 0,005	0,0052-0,0075
2014	< 0,05-0,0575	0,00121-0,00160	< 0,005	0,049-0,0057
2015	0,159-0,547	0,00109-0,00152	< 0,005	0,0050-0,103
2016	0,064-0,700	0,00109-0,00135	< 0,005	0,0052-0,0066
Рік	б) Елементи в р. Інгулець, нижче скидання в балку Грушовата, мг/дм <sup>3</sup>			
	<b>P</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>
2008	0,008-0,6	0,001-0,0013	0,046	0,004-0,013
2009	0,13-0,72	0,001-0,0018	-	0,003-0,011
2010	0,12-0,49	0,00092-0,00124	0,00540-0,0140	0,0053-0,012
2011	0,05-0,50	0,00101-0,00118	< 0,005-0,0797	0,0032-0,0053
2012	0,11-0,567	0,001-0,00147	< 0,005-0,019	0,0049-0,0080
2013	0,064-0,623	0,00134-0,00187	< 0,005	0,0055-0,0082
2014	< 0,05-0,533	0,00116-0,00158	< 0,005	0,0046-0,0056
2015	< 0,05-0,404	0,00106-0,00141	< 0,005	0,0046-0,0092
2016	0,098-0,385	0,00101-0,00116	< 0,005	0,0049-0,0059

У районах зазначених населених пунктів забруднюючий вплив гірничорудної промисловості відсутній. Також слід зазначити, що в р. Інгулець в районі с. Старолатівка перевищення ГДК за вмістом As в донних відкладах становить ~4 рази, а перевищення за вмістом фонових значень для елементів Zn, Mo і V, відповідно, – 2,9, 2,2 та 2,0 рази. Мо, як і As, широко розповсюджений в донних відкладеннях усього басейну р. Інгулець із перевищенням фонових значень до 5 разів. Джерелом надходження Мо в ґрунт є фосфатні добрива (табл. 2), а в асоціації із залізною рудою Мо не зустрічається.

**Висновки та запропоновані шляхи вирішення проблеми.** На основі узагальнюючого аналізу рухливості основних елементів, які забруднюють території в результаті сільськогосподарської діяльності, встановлено істотний вплив міграції цих елементів на геохімічний стан ґрунтів, поверхневих та підземних вод південного Кривбасу. Порівняння основних елементів-забруднювачів, які створюють небезпеку в результаті діяльності гірничого виробництва та агропромислового комплексу, свідчить про їх практичну totoжність. Це призводить іноді до необґрунтованого перебільшення внеску частки останніх в загальне забруднення сільськогосподарських територій, суміжних з об'єктами гірничого виробництва.

Результати досліджень динаміки вмісту P, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, V та Mn у чорноземному ґрунті показали, що на території південного Кривбасу їх валові

показники залишаються практично незмінними протягом останніх років. Низькі значення вмісту рухливих форм цих елементів свідчать про практично повне насичення ними ґрунтів. Вміст цих елементів у чорноземному ґрунті поблизу об'єктів гірничого виробництва й на значному віддаленні від них має ті ж самі межі зміни. Це свідчить про те, що до основних забруднювачів ґрунту цього регіону можна віднести добрива та пестициди. Зафіксовані тут забруднення поверхневих вод і, в першу чергу, р. Інгулець, значною мірою можуть бути наслідками діяльності агропромислового комплексу. Таким чином, і забруднення підземних вод може бути викликане практично в рівній мірі об'єктами як гірничого виробництва, так і сільськогосподарського комплексу.

Результати досліджень про розподіл As та Mo у донних відкладах басейну р. Інгулець свідчать про те, що основним джерелом їх надходження можна вважати добрива, що внесені у ґрунт у період вегетації рослин. Разом із цим, Co, Pb, Zn та Ag за рахунок пиління сухих хвостів гірничого виробництва можуть потрапляти у ґрунт, що потребує подальшого детального вивчення забруднення цими елементами територій поблизу хвостосховищ. В цілому отримані результати відкривають можливість для розробки методики розмежування часток небезпечного впливу гірничої промисловості та аграрного комплексу у формування загального гідрогеохімічного стану конкретного регіону.

#### Література.

1. До питання визначення основних техногенних факторів, які впливають на гідрогео-хімічний стан півдня Кривбасу / [О.К. Тяпкін, І.М. Подрезенко, Н.С. Остапенко та ін.] ЕКОФОРУМ – 2017. С.51-52.

2. К вопросу решения задач экологической безопасности, связанных с негативным влиянием химических удобрений на гидросферу / [П.И. Пигулевский, И.Н. Подрезенко, О.К. Тяпкин и др.] Экологичні науки. К.: ДЕА, 2019. № 5(24). Т. 1. С.76-81.

3. Подрезенко І.М Особливості оцінки небезпечного впливу гірничого та агропромислового виробництв на території в районі Кривого Рогу. Матеріали IV Міжнарод. наук.-практ. конференції. К.: Державна комісія України по запасах корисних копалин, 2017. Т.2. С.226-232.

4. Никаноров А.М. Гидрохимия / А.М. Никаноров. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 351с.

5. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии / В.Д. Романенко. К: Генеза, 2004. 664с.

6. Международный регистр потенциально токсичных химических веществ. Женева: ЮНЕП, 1992. – 32с.

7. Губіна В.Г. Залізовмісні відходи України: стан та перспективи використання. К.: Логос, 2010. 127с.

8. Гідроекосистема Криворізького басейну – стан і напрямки поліпшення / [І.Д. Багрії, П.Ф. Гожик, Е.В. Самоткал та ін.]. К.: Фенікс, 2005. 216с.

#### Reference

1. Tyapkin O.K, Podrezenko I.M, Ostapenko N.S (2017), Topical Issues and Innovations: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Ivano-Frankivsk, 51-52 pp.

2. Pigulevsky P.I, Podrezenko I.N, Tyapkin O.K (2019), Environmental Sciences, Kyiv, 5 (24), Vol. 1, 76-81 pp.

3. Podrezenko. I.M, Ostapenko N.S, Kryuchkova S.V., Kirichenko V.A (2017), Kiev, State Commission of Ukraine for Minerals Reserves, Vol.2. 226-232 pp.

4. Nikanorov A.M (1989), Hydrochemistry, L. Hydrometeorol., P. 351.

5. Romanenko V.D (2004), Fundamentals of Hydroecology, Kiev, Genesis, P. 664.

6. International Register of Potentially Toxic Chemicals (1992), Geneva, UNEP, 32 p.

7. Gubina V.G (2010) Iron-containing wastes of Ukraine: status and prospects of use, Kyiv, Logos, 127 p.

8. Bagri I.D, Gozhik P.F, Samotkal E.V (2005), Kyiv, Phoenix, 216 p.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОВОКУПНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЮГА КРИВБАССА

**Пигулевский П.И.**, д.геол.н., Институт геофизики НАН Украины, Pigulevskiy@nas.gov.ua.

**Подрезенко И.М.**, к. геол.-мин. н., Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины.

**Анисимова Л.Б.** к. биол.н., Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины

**Тяпкин О.К.**, д.геол.н., НТУ «Днепровская политехника», <https://orcid.org/0000-0002-2345-8343>

*В условиях значительного уменьшения количества сточных вод, связанного с падением промышленного производства в Украине в последние десятилетия, уменьшилась минерализация поверхностных вод р. Днепр и других рек его бассейна, что в целом способствует их оздоровлению. В то же время горнодобывающая деятельность (в т.ч. железорудные предприятия) продолжают быть одними из крупнейших загрязнителей окружающей среды. В породах железорудных месторождений встречаются Ga, Ge, Be, Sn, V, Mn, Ca, Cu, Te, Cr, Ni, Pb, Mg, Ba, Zn, Zr, Au и другие химические элементы. Горнодобывающие предприятия часто граничат с сельскохозяйственными угодьями, где в результате внесения удобрений и обработки растений пестицидами в почву попадают химические элементы разной степени опасности. Практически полное насыщение конкретными элементами почвы приводит к тому, что полученная с удобрениями новая порция этих элементов может беспрепятственно мигрировать в подземные водоносные горизонты (в основном в первый безнапорный водоносный горизонт) и в результате смыва с водосборной площади, в конечном счете, попадать в поверхностные водотоки и загрязнять их. На примере Кривбасса показано, что вследствие совместного действия факторов индустриальной (и, в первую очередь, горнодобывающей) и сельскохозяйственной деятельности в этом регионе уже давно сформировались новые устойчивые природно-техногенные геосистемы, в которых наиболее уязвимыми элементами являются поверхностные и подземные воды и зона аэрации. В современных условиях уменьшения негативного влияния промышленного (в т.ч. горного) производства – все более актуальным становится вопрос исследования воздействия на окружающую среду деятельности агропромышленного комплекса и определения его доли в общей техногенной нагрузке юга Кривбасса. К основным загрязнителям почвы и подземных вод (а в дальнейшем – поверхностных вод и донных осадков) данного региона, вместе с отходами горнодобывающего производства, можно отнести избыточно вносимые в почву удобрения и пестициды. Вопрос о загрязнении сельхозугодий, граничащих с объектами горного производства, требует детального комплексного изучения, в т.ч. разработки методики разграничения влияния (вклада) горнопромышленного и аграрного комплексов в загрязнение конкретной территории.*

**Ключевые слова:** горное производство, горные породы, почвы, загрязнители окружающей среды, поверхностные и подземные воды, сельское хозяйство, химические удобрения.

## RESEARCH OF COMPLETENESS OF TECHNOGENIC FACTORS INFLUENCING THE HYDROGEOCHEMICAL CONDITION OF THE TERRITORY OF SOUTH OF KRYVBAS

**Pigulevskiy P.**, Doctor of Geology, Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, Pigulevskiy@nas.gov.ua.

**Podrezenko I.**, PhD (Geol.-min.), Institute of Problems of Nature Management and Ecology, NAS of Ukraine.

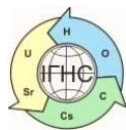
**Anisimova L.**, PhD (Biol), Institute of Environmental Management and Ecology of NAS of Ukraine

**Tyapkin O.**, D.Sc. (Geol.), NTU "Dniprovsk Polytechnic"

*In conditions of a significant reduction in the amount of wastewater, associated with a drop in industrial production in Ukraine in recent decades, the mineralization of surface waters of Dnipro river and other rivers of its basin decreased. This generally contributes to their recovery. At the same time, mining (including iron ore enterprises) continues to be one of the largest environmental pollutants. There are Ga, Ge, Be, Sn, V, Mn, Ca, Cu, Te, Cr, Si, Pb, Mg, Ba, Zn, Zr, Au and other chemical elements in the rocks of iron ore deposits. Mining enterprises often border agricultural land, where chemical elements of varying degrees of danger fall into the soil as a result of fertilizing and treating plants with pesticides. Almost complete saturation with specific soil elements leads to the fact that a new portion of these elements obtained with fertilizers can freely migrate to underground aquifers (mainly to the first non-pressure aquifer) and, as a result of surface flushing from the catchment area, ultimately, fall into surface watercourses and pollute them. On the example of Krivbas it is shown that due to the combined action of factors of industrial (and, first of all, mining) and agricultural activity in the region, new stable natural and technogenic geosystems have long been formed, in which surface and underground waters and aeration zone are the most vulnerable elements. In modern conditions of reducing the negative impact of industrial (including mining) production, the question of studying the environmental impact of the activity of the agro-industrial complex and determining its share in the total technogenic load of the south of Krivbas is becoming increasingly relevant. The main pollutants of soil and groundwater (and hereinafter - surface water and bottom sediments) in this region, together with mining waste, include fertilizers and pesticides that are excessively introduced into the soil. The issue of pollution of farmland bordering mining facilities requires a detailed comprehensive study, including development of a method for distinguishing between the influence (contribution) of mining and agricultural complexes in the pollution of a specific territory.*

**Keywords:** mining, rocks, soils, environmental pollutants, surface and groundwater, agriculture, chemical fertilizers.





<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.041>

УДК 577.41/:577.391

**Шевченко О.Л., Акінфієв Г.О.**

**Шевченко О.Л.**, д.г.н., ст. н. сп., ННІ «Інститут геології» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, shevch62@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-5791-5354>

**Акінфієв Г.О.** гол. співроб. ДП «Українська геологічна компанія»

## ГЕНЕРАЛІЗАЦІЯ ЧИННИКІВ ЗАЛУЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ ДО ВОДНОЇ МІГРАЦІЇ

*Дана стаття доповнює попередню публікацію (див. Геохімія техногенезу, Вип. 2, 2019), присвячену принципам організації радіоекологічного моніторингу. У цій статті більш детально розкрито процедуру відбору чинників впливу на мобілізацію (або ремобілізацію) та водне винесення  $^{90}\text{Sr}$ . Ця процедура є базовою у методологічному підході прогнозування концентрацій та водного винесення радіонуклідів за сталими ландшафтно-геохімічними і динамічними гідрометеорологічними чинниками. Доцільність такого підходу обґрунтовано ретроспективним аналізом та значущими коефіцієнтами кореляції між ознаками геологічного середовища (ландшафту) і водним винесенням радіонуклідів з окремих басейнів. Для коректного аналізу слід надати площинну оцінку ландшафтно-геохімічних чинників не менш як для 8 малих водозборів в однакових метеорологічних умовах. Генералізація чинників, тобто вибір найбільш впливових із них на окремих етапах поширення і трансформації радіоактивних випадів на площі водозбору, забезпечує створення оптимально спрощених (уніфікованих) емпіричних регресійних моделей формування концентрації і винесення забруднювача. Генералізація передбачає послідовне використання парного, кластерного, факторного та множинного кореляційного аналізів. Показано, що окремі ландшафтно-біогеохімічні чинники вже через 10-15 років після випадів на поверхню  $^{90}\text{Sr}$  мають більший вплив на водне винесення радіонукліду, ніж його запаси на водозборі. Отже, доведено можливість прогнозування водного винесення радіонукліду водотоком лише за сталими ландшафтними характеристиками його водозбору, що дозволяє обґрунтовувати рішення щодо розміщення атомних станцій та інших об'єктів паливного циклу на тих чи інших територіях. Таким чином, генералізована сукупність ландшафтних характеристик, що найбільше впливають на міграцію та водне винесення певного техногенного радіонукліду, визначає кінцеві шукані показники (на які спирається вибір території під небезпечний об'єкт): бар'єрну стійкість водозбору та захищеність (або вразливість) поверхневих і ґрунтових вод. Їх доцільно встановлювати за найбільш консервативними елементами-забруднювачами.*

**Ключові слова:** водне винесення радіонуклідів, концентрація, чинники, геохімічний фон, водозбір, ознаки ландшафту, множинний кореляційний аналіз, факторний аналіз, кластерний аналіз.

**Вступ.** Чорнобильська зона відчуження знаходиться в одній кліматичній та ландшафтно-геохімічній зоні – зоні Полісся. За цих передумов (однакова кількість опадів тощо) ми можемо припускати, що різниця у водному винесенні радіонуклідів між окремими малими водозборами обумовлюється, крім щільності забруднення, відмінностями у співвідношенні ландшафтних ознак, які сприяють депонуванню, або мобілізації радіонукліду. Наприклад, значне заліснення водозбору, разом із зменшенням водовіддачі, повинно сприяти утриманню розчинних радіонуклідів, а незначна площа лісу – водній ерозії та їх винесенню з площі басейну. Так само, протилежні або різні радіоекологічні ефекти пов'язані з ґрунтовими ознаками (площею поширення органічних та мінеральних; кислих та лужних або нейтральних ґрунтів), гідрографією (щільністю мережі), дренажістю, мікрорельєфом тощо. Отже, індивідуальні особливості біогеохімічного фону та техногенної обстановки на

водозборі, впливаючи на міграційну активність радіонукліду, повинні мати певний закономірний зв'язок із головними контрольованими моніторинговими показниками – концентрацією у воді та річним винесенням радіонукліду водним шляхом. Знайшовши математичне описання цих закономірностей ми зможемо, з урахуванням певних метеорологічних сценаріїв, прогнозувати величини концентрації та винесення радіонуклідів з окремих водозбірних басейнів.

Звідси випливає, що детальне вивчення ступеню обумовленості природними та антропогенними чинниками процесів вторинної контамінації впродовж тривалого часу допоможе пояснити та передбачити реакцію даного або подібного водозбірного басейну на забруднення, з урахуванням можливої метеорологічної обстановки. Передбачається також, що ступінь впливу тих чи інших показників середовища на міграцію змінюватиметься в часі залежно від трансформацій та перерозподілу полутантів по поверхні і на

глибину. Тобто, кожен трансформаційний цикл з переважанням певної форми міграції забруднювача, або навіть кожен рік, будуть відрізнятися набором пріоритетних чинників.

**Мета даної роботи** полягає в науковому обґрунтуванні процедури вибору головних чинників, що впливають на перебіг процесів вторинного забруднення поверхневих вод техногенними радіонуклідами, на прикладі водозборів Чорнобильської зони відчуження, забруднених  $^{90}\text{Sr}$ . Ця процедура є необхідною на шляху пошуку спрощених прогнозних моделей, що дозволять визначити бар'єрну стійкість водозборів і ступінь захищеності ґрунтових та поверхневих вод під обґрунтування вибору територій для розташування об'єктів атомно-промислового комплексу, або прогнозування водного винесення радіонуклідів для зон АЕС у подібних з Чорнобильською зоною умовах (Рівненська та Хмельницька АЕС).

**Основні результати досліджень.** Попередній *відбір головних чинників* впливу на водне винесення розчинних форм радіонукліду повинен спиратись на загальновідомі факти щодо ролі тих чи інших ландшафтних характеристик у формуванні підземного та поверхневого стоку. Наприклад, як вже зазначалось, відомо, що значна залісненість площі водозбору сприяє утриманню ґрунтового та поверхневого стоку, а значна розчленованість рельєфу - його збільшенню.

Звичайно, що не усі чинники, які сприяють або стримують водний стік, слід зараховувати до таких, що обумовлюють водне винесення радіонуклідів. До того ж як для  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ , так і для інших полютантів, набір чинників впливу на водне винесення може бути різним, оскільки, скажімо, органогенні ґрунти сприяють міграції  $^{137}\text{Cs}$ , але стримують міграцію  $^{90}\text{Sr}$ . Відповідно, мінеральні (особливо важкі) ґрунти депонують  $^{137}\text{Cs}$  (звичайно слід враховувати і кислотність ґрунту), проте меншою мірою затримують рухливі форми  $^{90}\text{Sr}$ .

Бар'єрна стійкість водозбірних басейнів до винесення радіонуклідів визначається *сталими та динамічними* чинниками. Сталі або відносно сталі чинники являють собою слабозмінні в часі ознаки ландшафту. До них відносяться: гідрографічна мережа, переважаючі типи ґрунтів (органогенні або мінеральні), мінеральний та гранулометричний склад водомістких материнських порід; певні класи западин; лісові масиви та деякі інші. Для того, щоб оцінити ступінь впливу цих чинників на винесення радіонукліду, визначаються їх кількісні значення, які відповідають поширенню ознак ландшафту на водозборі. Тобто, *чинники переводяться в параметри*, які можуть бути використані при статистичному аналізі та в математичних моделях. Отже, в якості параметрів чинники виглядатимуть як: щільність гідрографічної мережі, відносна

площа лісу, органогенних чи мінеральних ґрунтів на водозборі тощо. Для того, *щоб визначити вагові коефіцієнти таких чинників*, їх необхідно порівнювати по різних водозборах за один рік, щоб нівелювати вплив метеорологічних чинників. Отже, для коректності аналізу таких басейнів повинно бути достатньо багато – не менше восьми.

*Перший етап.* Щоб визначитись, які із ландшафтно-геохімічних чинників найбільш впливові, слід спочатку виконати парну кореляцію для кожного року, простежити хронологічні зміни коефіцієнтів кореляції та виділити періоди їх найбільшого впливу. Перелік чинників на такі періоди також може бути різним. Для пояснення коливань або багаторічних тенденцій ступенів впливу чинників на винесення необхідно знати про реальні зміни статичних чинників, що відбувались в природі або у зв'язку із втручанням людини та мати інформацію про трансформації, яких зазнав досліджуваній забруднювач упродовж тривалого часу.

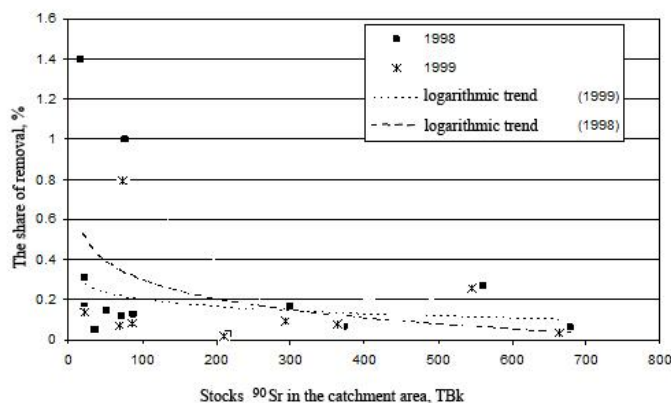
Для «водних моделей» починати, очевидно, слід із пошуку залежності водного винесення РН *від прямого показника забруднення*. Однак проведений для вибірки басейнів статистичний аналіз показав досить низькі коефіцієнти кореляції (R) між водним винесенням (W) і запасами  $^{90}\text{Sr}$  на площі водозбору ( $Z_{\text{Sr}}$ ) (табл. 1), що вказує не лише на далеко не повну участь радіоактивних речовин на площі водозбору у формуванні забруднення поверхневих вод, а й свідчить про більш значущу роль інших, окрім запасів  $^{90}\text{Sr}$ , чинників, таких як нерівномірне за різними напрямками поширення співвідношення конденсаційних та паливних частинок [1], а також ландшафтні особливості водозборів. Про це свідчать і досить низькі значення частки водного винесення радіонукліда від його запасів в ґрунтах водозбору (здебільшого в межах 0,03-0,08%), які також практично не залежать від цих сумарних запасів [2]. Проявляється навіть зворотна залежність (з окремими винятками), що пов'язано із зростанням частки рухомих форм  $^{90}\text{Sr}$  в міру віддалення від епіцентру забруднення (рис.1). З аналізу мінливості модулів винесення  $^{90}\text{Sr}$  за всі роки спостережень також випливає, що ці зміни обумовлені скоріше бар'єрними особливостями водозбору, ніж ступенем забруднення його площі [3,4]. Отже, можна зробити висновок, що величина запасів забруднювача в ґрунтах всього водозбору *не є обов'язковим параметром при прогнозуванні обсягів водного винесення*, а показник запасів дає лише орієнтовну, якісну оцінку ступеня забруднення водозбору і не дає уявлення про можливі обсяги водного винесення радіонукліда.

Оскільки  $^{90}\text{Sr}$  випав переважно у формі «гарячих» частинок, то його запаси на площі водозборів зменшуються з віддаленням від епіцентру катастрофи. В той же час збільшується відносний вміст в ґрунтах

більш рухливої конденсаційної форми  $^{90}\text{Sr}$ . Звідси, до початку масової дисоціації паливних частинок та переходу  $^{90}\text{Sr}$  у обмінні та розчинні форми, у багатоводні роки проявлялась обернена залежність частки виносення  $^{90}\text{Sr}$  від запасів його на водозборі.

Підвищення водного виносення звичайно відбувається у роки з великою кількістю опадів. Проте останні відносяться до зовнішніх динамічних чинників, що не дозволяє передбачати їх із достатньою вірогідністю. До того ж виявилось, що коефіцієнти ко-

реляції між означеними показниками невисокі (табл. 2), особливо у перші роки після радіоактивних випадів на поверхню водозбору. Загалом, до динамічних відносяться зовнішні гідрометеорологічні чинники, що змінюються по роках та у межах року: кількість опадів, характер повені, наявність літніх паводків; та внутрішньобасейнові: рівень ґрунтових вод, стан каналів, пов'язаний із їх заростанням, замуленням та регулюванням, хімічний склад ґрунтових вод, швидкість течії, дренажність.



**Рис. 1.** Співвідношення частки водного виносення  $^{90}\text{Sr}$  за межі басейну і запасів  $^{90}\text{Sr}$  на його площі через 12-13 років після катастрофи на ЧАЕС.

**Fig. 1.** The ratio of  $^{90}\text{Sr}$  amount removed with water from the catchment basin and  $^{90}\text{Sr}$  reserves on the catchment basin territory 12-13 years after the Chernobyl disaster.

**Табл. 1.** Коефіцієнти парної кореляції між виносенням  $^{90}\text{Sr}$  ( $W$ ) та динамічними чинниками для окремих водотоків (басейнів) за період 1987-2011 рр.

**Table 1.** Pair correlation coefficients between  $^{90}\text{Sr}$  aqueous removal ( $W$ ) and the dynamic factors of individual streams (pools) for the time period 1987-2011.

Показники		Коефіцієнти парної кореляції з виносенням $^{90}\text{Sr}$ по басейнах (їх площа)			
		р.Брагінка, площа (1390 км <sup>2</sup> )	МК-1 (115,6 км <sup>2</sup> )	Водозбір до прорану в Дамбі №7 (94 км <sup>2</sup> )	р.Сахан, (184 км <sup>2</sup> )
1	Сума атмосферних опадів за рік, $P$	0,58	0,36	0,5	0,54
2	Річний стік, $Q$	0,73	0,87	0,81	0,83
3	Запаси $^{90}\text{Sr}$ на площі водозбору, $Z_{Sr}$	<b>-0,2</b>	<b>0,58</b>	<b>0,51</b>	<b>0,1</b>
4	Дренажність, $D_r$	0,3	0,87	0,81	н.в.*

\* – не визначалося

**Табл. 2.** Коефіцієнти кореляції між кількістю виносеного з водозбірної басейну  $^{90}\text{Sr}$  та річною сумою атмосферних опадів

**Table 2.** Correlation coefficients between the amount of  $^{90}\text{Sr}$  removed from the catchment basin and the annual amount of precipitation

Період	Водозбірний басейн за назвою основного водотоку					
	МК-1 Прип'ятської осушувальної системи	Північно-західний до гирла МК-5	р.Брагінка	р.Сахан	р.Глиниця	р.Ілля
1989-2000	0.27	0.4	0.28	0.22	-0.44	-0.21
2001-2011	<b>0.56</b>	<b>0.68</b>	<b>0.67</b>	<b>0.87</b>	<b>0.56</b>	н.д.

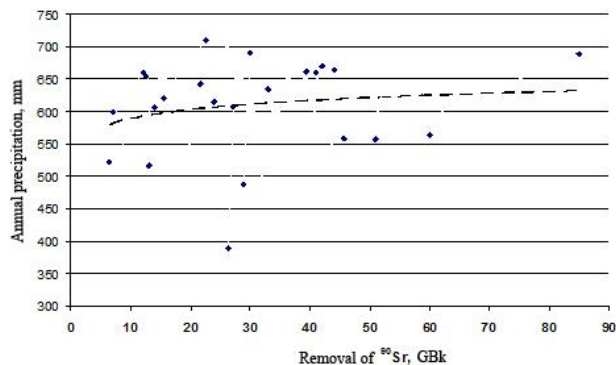
н.д. – недостатньо даних

Коефіцієнти кореляції між кількістю річних опадів та водним виносенням  $^{90}\text{Sr}$  (табл. 2) демонструють ступінь підготовленості переважаючих форм радіонуклідів до залучення у водні потоки і дозволяють обґрунтувати етапи, під час яких  $^{90}\text{Sr}$  перебував перева-

жно у складі слаборухливої паливної компоненти (1986-2000 рр.) та перейшов у розчинні й обмінні форми (з 2001 р по наш час). Ці етапи виділено методом послідовних групувань даних. Саме найбільші коефіцієнти отримано для другого періоду, який почина-

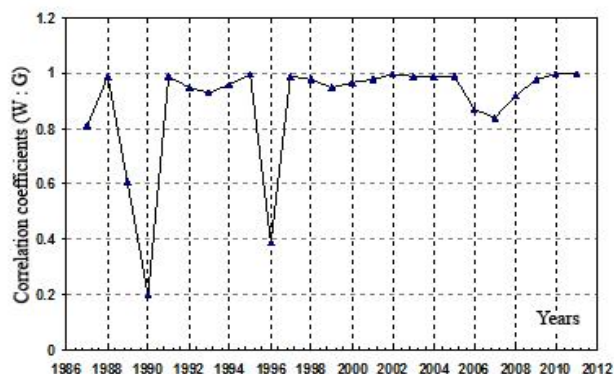
ється з 2001 р., що повністю співпадає з прогнозами, виконаними іншими авторами [5]. З 2001 року залежність набула більш синхронного вигляду [2,3]. Для Північно-західного басейну, розташованого на низькій та високій лівобережних заплавах, коефіцієнт кореляції між виносом та кількістю опадів набуває стійких високих значень з 1993 року, – після спорудження нової Лівобережної дамби. До цього вирішальним чинником був рівень води в р. Прип'ять під час повеней, паводків та зимових зажорів.

Порівняння виносу з кількістю опадів за відповідний рік упродовж тривалого періоду (рис. 2) не



**Рис. 2.** Ступінь залежності річного водного виносу  $^{90}\text{Sr}$  каналом МК-1 лівобережної Прип'ятської системи від суми річних опадів за 1987-2011 рр.

**Fig. 2.** Dependence of  $^{90}\text{Sr}$  annual aqueous removal by the MK-1 channel on the left bank of Prypiat river on the amount of annual precipitation for the time period 1987-2011.



**Рис. 3.** Зміни характеру впливу густини гідрографічної мережі (G) на винос  $^{90}\text{Sr}$  (W) за період після аварії на ЧАЕС (для 11 малих водозбірних басейнів)

**Fig. 3.** Changes in the character of hydrographic network density (G) influence on  $^{90}\text{Sr}$  removal (W) in the period following the Chernobyl disaster (for 11 small catchments)

Водневий показник (рН водної витяжки) ґрунтів проявляв значущий ступінь впливу на залучення  $^{90}\text{Sr}$  до водної міграції лише у перші роки після аварії (рис. 4). Загалом цей вплив дуже нестійкий у часі. Порівняно високі значення  $K_{\text{кор}}$  у перші роки після випадіння радіоактивних речовин можна пояснити участю органічних кислот ґрунту у вилугованні  $^{90}\text{Sr}$  з паливних частинок. Після виходу основної частини  $^{90}\text{Sr}$  із твердофазної матриці рН перестає відігравати суттєву роль у водній міграції радіонукліду. Вплив рН має обернений зв'язок із кількістю опадів ( $K_{\text{кор}} = -0,58$ ), що може свідчити про підпорядкованість чинника кислотності динамічним факторам, тобто про його мінливість по сезонах року та в роки різної водності. З початком багатоводних (>600 мм) 1996-2001 років (1999 р. відрізнявся багатоводною повінню)

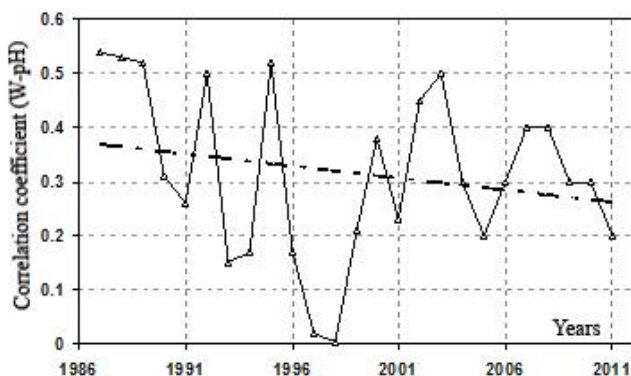
описується якоюсь чіткою залежністю, що свідчить про більш вагому роль інших чинників.

Густина гідрографічної мережі має дуже суттєвий вплив на водне виносення радіонуклідів – коефіцієнти кореляції сягають 1 (рис. 3). Причому цей зв'язок з роками посилюється та набуває стабільного характеру. Низькі коефіцієнти кореляції співпадають із маловодними роками (1989, 1990 і 1996 рр.), для яких характерний рівномірний розподіл та невисока кількість опадів, що позначилося на аномально низьких значеннях водного виносу активності за наявності досить густої гідрографічної мережі.

вплив цього чинника на виносення  $^{90}\text{Sr}$  помітно знизився. Незначним був його вплив під час наступного багатоводного циклу, що почався з 2004 р.

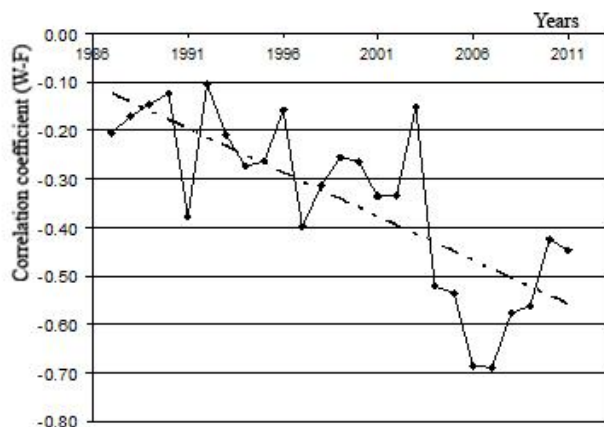
Отже, ретроспективний аналіз змін ступеню впливу чинника на виносення  $^{90}\text{Sr}$  впродовж тривалого періоду після початку забруднення дозволяє виявити загальні «внутрішні» зміни, що відбуваються із мігрантом – переважаючий перехід у рухливі або навпаки, – фіксовані форми.

Цілков логічною виглядає обернена залежність виносу стронцію від відносної площі лісу на водозбірній площі (рис. 5). Причому роль лісу у затримці  $^{90}\text{Sr}$  зростає по мірі віддалення від моменту аварійних випадіння та збільшення частки обмінних і розчинних форм радіонукліду, які здатні поглинатися рослинністю. В багатоводні роки роль лісу також більш вагома.



**Рис. 4.** Коливання показника залежності винесення  $^{90}\text{Sr}$  (W) від відносної площі (%) кислих ґрунтів на водозборі (рН водної витяжки менше 6)

**Fig. 4.** Fluctuations of the index of dependence of  $^{90}\text{Sr}$  removal (W) on the relative area (%) of acidic soils in the catchment area (pH of water extract is below 6)



**Рис. 5.** Хронологічна зміна ступеню оберненого впливу відносної площі лісу (F) на водозборі на водне винесення  $^{90}\text{Sr}$  (W) (для 9 водозбірних басейнів)

**Fig. 5.** Chronological change in the degree of the inverse effect of the relative forest area (F) of the catchment basin on  $^{90}\text{Sr}$  water removal (W) (for 9 catchments)

Западинний рельєф класифіковано на п'ять під-розділів: 1) сухі западини впродовж більшої частини року, 2) сухі западини на піску; 3) повздовжні западини, здебільшого тальвеги лінійних ерозійних форм, частина з яких перетинається каналами; 4) западини, обводнені більшу частину року, 5) западини, перезволожені на відкритій місцевості – переважно на вологих луках або на підтоплених лісових галявинах. Перші два класи об'єднано в групу западин, що сприяють переведенню поверхневого стоку в підземний; лінійні форми представлено як западини, що сприяють поверхневому стоку; четвертий і п'ятий класи об'єднано в групу, що відповідає переважно за утримання поверхневого стоку та витрачання його на випаровування і транспірацію рослинами. З метою визначення предикторів, або кількісних параметрів, що відобразатимуть найбільшу міру зв'язку із залежним показником – водним винесенням  $^{90}\text{Sr}$ , для кожного з басейнів визначено наступні величини: загальну площу западин у межах басейну, відносну площу усіх западин (%), щільність усіх западин, їх кількість, площу, кількість і відсоток западин кожної групи від площі басейну та від площі усіх западин [6]. За результатами кореляційного аналізу побудовано хронологічні графіки, що демонструють невитриманість ступеню зв'язку між незалежним чинником і винесенням  $^{90}\text{Sr}$  водотоками. Винесення має істотну обернену залежність від абсолютного значення площі усіх

западин в межах басейну, яка з роками посилюється (рис. 6). Найменш значущі  $K_{\text{кор}}$  знову характерні для маловодних років.

Очевидно, що більша частина площі западин працює на утримання поверхневого стоку і/або переведення розчинних форм  $^{90}\text{Sr}$  в глибокі шари геологічного середовища, тобто виведення радіонукліду з ланцюжка міграції: «поверхня ґрунту – ґрунтові води – водоприймач». Проте великі сухі, або так звані провідні, западини суттєво збільшують водне винесення  $^{90}\text{Sr}$  шляхом прискореного переведення його в ґрунтові води, а з ними – в дренажні їх канали, що проявляється через високі позитивні значення  $K_{\text{кор}}$ . [6]. Транзитна роль провідних западин збільшується по мірі вивільнення  $^{90}\text{Sr}$  із паливної матриці. Період відносної стабілізації значень коефіцієнта кореляції між винесенням  $^{90}\text{Sr}$  та показниками, що характеризують поширення западинних форм, настає з 1997 року, що співпадає з початком багатоводного циклу та періоду переважання дисоційованих, рухливих форм радіонуклідів над вмістом їх у паливних частинках.

*Другий етап.* За наявності великого переліку чинників процедура їх використання у регресійних моделях ускладнюється, і самі моделі стають незручними для використання. Для оптимізації регресійних моделей перед множинним кореляційним аналізом доцільно виконати *факторний аналіз*. Він дозволяє об'єднати подібні за спільним характером впливу або

генетичними зв'язками чинники в групі і далі вже використовувати для побудови регресійних моделей по одному представничому чиннику з кожної групи.

Для виявлення структури взаємозалежності між виділеними характеристиками ландшафтів обраних 10 басейнів та винесенням з них  $^{90}\text{Sr}$  аналізувалися такі сталі параметри:  $Gz$  (щільність западин на водозборі),  $Gg$  (густина гідрографічної мережі),  $Lr$  (меліорованість),  $Rf$  (зарегульованість басейну),  $S_{\text{кисл}}$ ,  $S_{\text{орг}}$ ,  $S_{\text{орг-мін.гр}}$  (відносні площі поширення, відповідно, кислих, органічних та органо-мінеральних ґрунтів на водозборі);  $Sf$  (відносна площа лісу), а також динамічний показник  $Wg$  (частка підземного стоку в загальному), для якого достовірні значення для усіх басейнів визначено лише за 1998 і 1999 роки. Як видно з даних табл. 3, власні значення кореляційної матриці швидко зменшуються. Вже 4-е значення стає меншим за 0,5. Можна сказати, що перший виділений фактор еквівалентний (за часткою мінливості даних) чотирьом вихідним параметрам. З другого рядка видно, що перші 3 фактори пояснюють майже 90% мінливості даних.

Таким чином, для описання сукупності характеристик басейнів достатньо використовувати 3 незалежних згрупованих фактори. Розглянемо тепер, як визначається мінливість характеристик басейну цими генералізованими факторами (табл. 4).

З таблиці видно, що перший фактор визначає більшу частину змін природних ландшафтних параметрів  $Gz$ ,  $S_{\text{орг-мін.гр}}$  та сталих і динамічних штучних «водних» чинників:  $Gg$ ,  $Lr$ ,  $Rf$ ,  $Wg$ . Зміни параметрів  $S_{\text{кисл}}$  і  $Sf$  майже повністю визначаються другим фактором. Окремо стоїть характеристика  $S_{\text{орг}}$ , зміни якої пов'язані з третім фактором. Те, що щільність мікрозападин ( $Gz$ ) потрапила до групи «водних» показників разом з  $Wg$ , підтверджує зроблений вище висновок про значну роль западин у формуванні інфільтраційного живлення ґрунтових вод і у загальному водному винесенні розчинних форм радіонуклідів до відкритих дрен.

Якщо ж вибірка параметрів складається з 8 чинників (без  $Gz$ ), – перші три фактори також набирають майже 90%. Перший фактор визначає більшу частину змін штучних «водних» параметрів  $Gg$ ,  $Lr$ ,  $Rf$ , що набирають відповідно 0,74, 0,91 і 0,95 часток мінливості; а також ґрунтового показника ( $S_{\text{орг-мін.гр}}$ ) і динамічного гідрогеологічного ( $Wg$ ). Другий фактор знову визначає зміни  $S_{\text{кисл}}$  і  $Sf$ , а  $S_{\text{орг}}$  майже повністю визначається третім фактором.

При уведенні до переліку природних і штучних чинників  $Z$  і  $W$  та виключенні із нього  $Rf$  та  $S_{\text{орг-мін.гр}}$ , виділяється чотири значущі групи факторів, які пояснюють 91,3% мінливості даних. В цьому випадку, порівняно з попередніми, частка мінливості параметру, яка припадає на вирішальний фактор, зменшується.

Першим фактором визначаються переважні зміни  $Gg$  (0,79),  $Lr$  (0,75),  $Wg$  (0,73) і  $Gz$  (0,68). Другий фактор має переважаючий, але не вирішальний вплив на зміни  $S_{\text{орг}}$  (0,47), винесення  $^{90}\text{Sr}$  (0,7) і запаси  $^{90}\text{Sr}$  на водозборі –  $Z$  (0,68), що підкреслює залежність винесення  $^{90}\text{Sr}$  від його запасів на водозборі та відносної площі органогенних ґрунтів. Під впливом третього фактора в значній мірі перебуває  $S_{\text{кисл}}$  (0,9), а також  $Sf$  (0,34), але при цьому, роль першого фактора майже така ж вагома – 0,332. Четвертий фактор доповнює вплив на мінливість окремих параметрів і визначає близько 20-30% впливу на три із них: 0,285 ( $S_{\text{орг}}$ ), 0,175 ( $Gz$ ), 0,187 ( $Sf$ ).

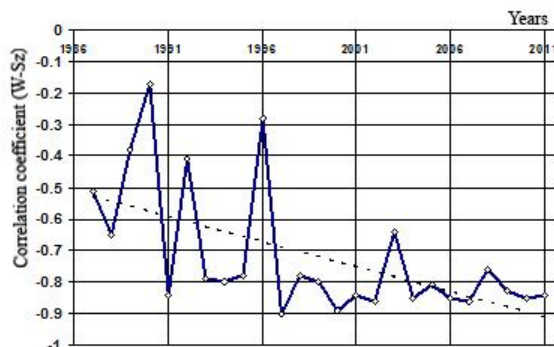


Рис. 6. Динаміка залежності об'ємів винесення  $^{90}\text{Sr}$  ( $W$ ) від площі всіх западин ( $Sz$ ) в межах окремих басейнів зони відчуження ( $N=9\dots 11$ )

Fig. 6. Dynamics of dependence of  $^{90}\text{Sr}$  removal ( $W$ ) on the area of all depressions ( $Sz$ ) within individual basins of the exclusion zone ( $N=9\dots 11$ )

У виборці чинників також за 1998 р. з урахуванням винесення ( $W$ ) але без  $S_{\text{орг-мін.гр}}$  і  $Z$ , 82% мінливості даних пояснюють перші 3 фактори. У впливі на розподіл частки мінливості параметрів домінує перший фактор: він об'єднує під своїм впливом «водні» показники:  $Gg$  (0,76),  $Lr$  (0,83),  $Rf$  (0,87) і  $Wg$  (0,7), а також щільність западин  $Gz$  (0,65), що знову ж таки підтверджує значну роль останніх у водообміні між поверхневими і підземними водами. Водне винесення  $^{90}\text{Sr}$  ( $W$ ) за найбільшою часткою мінливості (0,44) потрапляє до окремої 4-ої групи (по інших групах розподіл часток приблизно рівний). Після  $W$  найбільшу частку у цій групі (близько 0,2) має лише щільність западин. Частки мінливості  $Sf$  приблизно порівну розподілені між трьома першими групами, з невеликою перевагою в останній (0,37). Другим фактором майже повністю визначаються зміни ґрунтових параметрів ( $S_{\text{кисл}}$  і  $S_{\text{орг}}$ ).

У виборці природних ( $Gz$ ,  $Sf$ ,  $S_{\text{кисл}}$  і  $S_{\text{орг}}$ ), динамічних ( $Wg$ ) і антропогенних ( $Gg$ ,  $Lr$ ,  $W$ ,  $Z$ ) параметрів, при введенні значень винесення та долі ґрунтового стоку за 1999 р., 92% мінливості даних визначаються 4-ма факторами. До першої групи потрапляють  $Gg$ ,  $Lr$

і  $Wg$ , а також  $Gz$  (0,69). Суттєву частку у цій групі має також винесення  $^{90}\text{Sr}$  – 0,26 та площа лісу (0,33). У другій групі частка мінливості  $W$  складає 0,3. Сюди входять також запаси  $^{90}\text{Sr}$  на водозборі (0,81). Приблизно таку ж долю (0,29) має  $W$  і у третій групі (названій «грунтово-геохімічною»), до якої входять  $S_{\text{кисл}}$  і  $S_{\text{орз}}$ . Якщо з вибірки параметрів за 1999 р. виключити показники забруднення ( $W$ ,  $Z$ ), то між трьома головними факторами природні та техногенні параметри розподіляться наступним чином: 1 група: водні параметри  $Gg$ ,  $Lr$ ,  $Rf$ ,  $Wg$  та щільність западин  $Gz$ , а також відносна площа органо-мінеральних ґрунтів (0,574); у другій групі об'єднуються  $S_{\text{кисл}}$  і  $Sf$ , а у третій залишається  $S_{\text{орз}}$ . Якщо замінити у вибірці показників за 1999 р.  $S_{\text{орз-мін.ср.}}$  на кількість западин ( $N_z$ ) і  $Wg$  на  $W$ , то найбільша частка мінливості  $W$  припадає до третьої групи, у якій значну частку мають також  $S_{\text{кисл}}$  (0,22),

$N_z$  (0,39) та  $Gz$  (0,3), що знову ж таки зводить винесення радіонукліду у залежність від поширення западин та кислих ґрунтів на площі водозбору.

Наступний крок – визначення значень факторів для кожного з басейнів з метою можливого їх групування за набором пріоритетних факторів, що може бути використано при побудові регресійних моделей. Для зручності розраховані значення нормовані в діапазоні від 0 до 100 (табл. 5). За першим фактором *чітко розділяються басейни лівого і правого берегів* р. Прип'ять: зі значеннями < 10 - басейни правого берега (виняток становить лівобережний басейн р. Брагінки) і > 45 - лівого берега. «Водні» характеристики на лівобережній частині водозбору визначають характер ландшафту і мають вирішальне значення у формуванні винесення  $^{90}\text{S}$ .

**Табл. 3.** Власні значення кореляційної матриці характеристик (параметрів) басейнів

**Table 3.** Values of the correlation matrix of the basins' characteristics (parameters)

Фактор	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Власне значення	4.616	1.935	1.318	0.460	0.295	0.204	0.149	0.021	0.001
Накопичена частка мінливості, %	51.3	72.8	87.4	92.6	95.8	98.1	99.8	100.0	100.0

**Табл. 4.** Частка мінливості параметрів, яка пояснюється першими 5 факторами

**Table 4.** Parameter variability fraction that is explained by the first 5 factors

Параметри	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5
$Rf$	<b>0.921</b>	0.950	0.957	0.959	0.962
$Lr$	<b>0.880</b>	0.911	0.926	0.929	0.933
$Gg$	<b>0.719</b>	0.821	0.926	0.931	0.981
$Wg$	<b>0.684</b>	0.717	0.813	0.865	0.908
$Gz$	<b>0.635</b>	0.670	0.759	0.881	0.969
$S_{o.m}$	<b>0.570</b>	0.798	0.829	0.907	0.952
$Sf$	0.154	<b>0.759</b>	0.953	0.972	0.977
$S_{\text{кисл}}$	0.052	<b>0.809</b>	0.818	0.940	0.963
$S_{\text{орз}}$	0.001	0.118	<b>0.889</b>	0.947	0.979

За сукупністю факторів дуже близькі між собою басейни МК-1 і МК-2 осушувальної системи «Усів» (високі значення 1-го і 2-го факторів за низького значення 3-го фактора). Об'єднуються також басейни МК-5 і МК-6, які входять до Північно-західного басейну. За високих значень першого фактора у них спостерігаються середні значення 2-го і 3-го факторів. Вагома роль «грунтово-рослинних» чинників (Ф2) у регулюванні процесів міграції забруднювачів повинна простежуватися в басейнах р. Брагінки, МК-2, МК-1 о.с. Усів і р. Сахан.

За даними 1999 р. частка мінливості винесення розподіляється приблизно порівну між окремими групами, що свідчить про вплив на нього усіх вибраних показників; найбільш міцний зв'язок винесення  $^{90}\text{Sr}$  – в першу чергу, із запасами його на водозборі, по друге – із кількістю западин.

Таким чином, через виявлені факторні зв'язки, вибудовується ланцюг: щільність (або кількість) западин – інтенсивність стоку ґрунтових вод – винесення  $^{90}\text{Sr}$  основними дренами басейну. Причому такий зв'язок може бути як прямим, так і зворотнім, тобто через западини може у певні періоди проходити чистий підземний стік, що обумовлює, при збереженні загальних обсягів стоку, пропорційне зменшення винесення за рахунок розбавлення (зменшення) концентрації  $^{90}\text{Sr}$ . Завдяки факторному аналізу з'ясовано, що регресійні рівняння для визначення винесення  $^{90}\text{Sr}$  доцільно будувати за трьома чинниками, кожний з яких представляє певну факторну групу («водну», «грунтово-рослинну», «грунтово-геохімічну»), а статистичний аналіз виконувати окремо для правобережних та лівобережних басейнів р. Прип'ять, у зв'язку з домінуванням різних механізмів формування бар'єрних та мобілізаційних функцій ландшафтів по відношенню до  $^{90}\text{Sr}$ .

*Третій етап.* Для виділення груп близьких за рядом показників об'єктів виконано кластерний аналіз (рис. 7).

За критерієм «відстані» між об'єктами, тобто наближеності значень сталих ландшафтно-геохімічних ознак, найближчими аналогами виявились водотоки із близькими за площею водозбірними басейнами: МК-1, МК-7 та Ілля (табл. 6), а також басейни з близьким ступенем меліорованості та зарегульованості: МК-6 та МК-5 Прип'ятської системи і МК-2 системи Усів. Завдяки кластерному аналізу, в подальшому для груп, що мають статистично достатню кількість об'єктів (лівобережні басейни), виведено коефіцієнти кореляції та регресійні залежності, що є більш коректними, ніж побудовані для всієї вибірки.

*Четвертий етап.* Для кожної з груп чинників виконувалась множинна кореляція за Спірменом та Пірсоном. За даною процедурою визначено найбільш впливові ознаки ландшафтно-геохімічного фону: щільність гідрографічної мережі, поширення западин різних типів, тип ґрунтів, їх кислотність, площа лісу, відносна площа меліоративних систем на водозборі.

Для окремих магістральних каналів виконано множинний кореляційний аналіз залежності концентрації  $^{90}\text{Sr}$  у воді ( $C_{Sr}$ ) від швидкості потоку ( $V$ ), окиснюваності ( $On$ ) та рН води за багаторічними даними спостережень. Вибір цих чинників попередньо обґрунтовано парним кореляційним аналізом. За результатами багатофакторного регресійного аналізу не всі чинники виявились значущими. Практично в усіх варіантах регресійних моделей *окиснюваність* ( $On$ ) *мала найвищий рівень значущості*:  $p$ -level коливався в межах  $2 \cdot 10^{-7}$  -  $3 \cdot 10^{-2}$ . В експоненційних оптимізованих моделях достатній рівень значущості ( $p = 1,67 \cdot 10^{-3}$ ) мала також експонента швидкості ( $V$ ). Регресійна модель для цього випадку має вигляд:

$$C_{Sr} = -4,526 + 0,99 \cdot On - 46,56 \cdot e^V - 0,00002 \cdot e^{On} + 8,239 \cdot pH$$

Значна роль западин у водній міграції радіонуклідів підтверджується саме завдяки множинному кореляційному аналізу (табл. 7, 8), який дозволяє враховувати не лише вплив окремих чинників на процес водного винесення але й сукупний вплив усіх обраних чинників та їх взаємозалежність.

Отже, комбінації з 3-4-х репрезентативних чинників зручно використовувати *для побудови регресійних моделей*. Тобто, для кожної забруднюючої речовини (або групи речовин) на певному ландшафтно-геохімічному фоні існуватиме індивідуальний набір чинників, що визначатимуть утримання або підвищену міграцію цього забруднювача. До того ж цей перелік може змінюватись для кожного із водозбірних басейнів у часі в залежності від трансформаційних змін полютанта або зовнішніх гідрометеорологічних умов. Регресійні моделі, що описують залежність во-

дного винесення полютанта каналом або рікою ( $W$ ) від пріоритетних чинників (предикторів) можуть мати різний математичний вигляд. Наприклад, логарифмічна модель із статистично значущими оціночними значеннями параметрів  $b_i$  при перемінних, що описують статичні чинники, для лівобережних басейнів р. Прип'ять на 1998 рік має вигляд:

$$W = -11157,7 - 776,2Gz - 2037,3Gg - 156 \ln Z_{Sr} + 10191,2 \ln Gz + 2879,2 \ln Gg$$

Підставляючи у подібну модель відомі значення таких предикторів, як щільність западин на водозбірній площі ( $Gz$ ), густина гідромережі ( $Gg$ ), запас активності стронцію-90 на водозборі ( $Z_{Sr}$ ) одного з лівобережних водотоків, для якого винесення  $^{90}\text{Sr}$  у свій час не визначалось, можна встановити його з високою достовірністю.

**Табл. 5.** Значення перших трьох факторів для досліджуваних басейнів

**Table 5.** The value of the first three factors for the studied basins

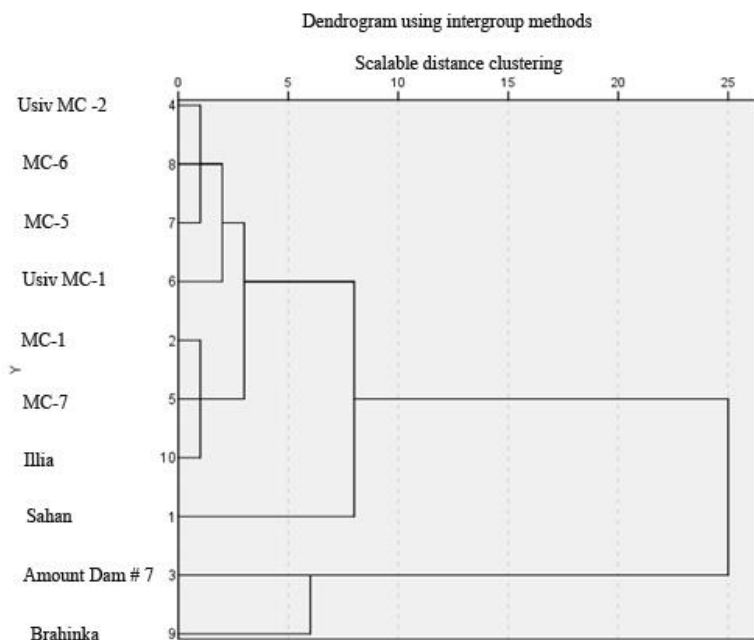
Басейни	Ф1	Ф2	Ф3
Лівобережні			
МК-1	48,092	0	14,732
Північно-західний (до прорану в дамбі №7)	95,981	49,005	26,472
МК-2 о.с. Усів	100	100	23,987
МК-7	79,856	33,468	100
МК-1 о.с. Усів	94,731	86,659	11,372
МК-5	77,624	41,477	67,667
МК-6	93,285	47,763	21,457
р.Брагінка	0	96,947	74,775
Правобережні			
р.Сахан	5,733	59,746	30,008
р.Ілля	2,24	49,132	0

За результатами парного та множинного кореляційного аналізів виконано ранжування чинників впливу (окрім запасів забруднювача на водозбірній площі) для виділених метеорологічних і трансформаційних етапів. Наприклад, на першому маловодному етапі 1987-1992 рр., що характеризувався переважанням твердофазних слаборушливих форм  $^{90}\text{Sr}$ , винесення добре корелювало із площею перезвожених западин (обернена залежність); відносною площею всіх западин, сухих западин та кислих ґрунтів (в усіх випадках прямі залежності); відносною площею органічних ґрунтів (обернена залежність).



**Табл. 6.** Матриця наближення між водозбірними басейнами за результатами кластерного аналізу за набором природних і техногенних характеристик  
**Table 6.** The approximation matrix between the catchment areas based on the cluster analysis data using natural and man-made characteristics

Об'єкт	Відстань									
	1: Сахан	2: МК-1	3: Сума (Дамба №7)	4: Усів МК-2	5: МК-7	6: Усів МК-1	7: МК-5	8: МК-6	9: Брагінка	10: Ілля
<i>1: Сахан</i>	0,0	144379,01	348684,75	195867,1	141646,45	165066,24	181592,2	200206,96	465215,97	130164,7
<i>2: МК_1</i>	144379,01	0,0	492725,73	51637,0	<b>5588,21</b>	20821,9	37348,2	55919,7	609510,98	<b>16952,7</b>
<i>3: Сума (Дамба №7)</i>	348684,75	492725,73	0,0	544198,1	488552,52	513372,18	529951,1	548203,9	120424,36	476767,5
<i>4: Усів МК-2</i>	195867,1	51636,99	544198,1	0,0	55750,64	30844,9	14402,8	<b>4478,3</b>	660967,89	68495,1
<i>5: МК-7</i>	141646,45	<b>5588,21</b>	488552,5	55750,6	0,0	24933,8	41470,8	59762,5	606104,67	<b>14209,2</b>
<i>6: Усів МК-1</i>	165066,24	20821,9	513372,18	30844,9	24933,8	0,0	<b>16687,6</b>	35228,5	630164,62	37664,3
<i>7: МК-5</i>	181592,2	37348,16	529951,13	14402,8	41470,87	<b>16687,6</b>	0,0	18743,4	646745,43	54254,9
<i>8: МК-6</i>	200206,96	55919,71	548203,9	<b>4478,3</b>	59762,54	35228,5	18743,4	0,0	665047,9	72773,6
<i>9: Брагінка</i>	465215,97	609510,98	120424,36	660967,9	606104,67	630164,6	646745,4	665047,9	0,0	594613,2
<i>10: Ілля</i>	130164,74	<b>16952,66</b>	476767,48	68495,1	<b>14209,19</b>	37664,2	54254,9	72773,6	594613,15	0,0



**Рис. 7.** Дендрограма з використанням методу міжгрупових зв'язків для басейнів за ландшафтними і техногенними (крім забруднення) ознаками.

**Fig. 7.** Dendrogram using intergroup communication method for basins by landscape and man-made (except for pollution) characteristics.

**Табл. 7.** Результати множинного кореляційного аналізу за Пірсоном для окремих багатоводних років (усі змінні не підпадають під нормальний закон розподілу; кореляція значима при  $p < 0,050$ )  
**Table 7.** Results of multiple Pearson correlation analysis for high water years (all variables do not fall under normal distribution law; correlation is significant at  $p < 0.050$ )

Показники		Коефіцієнти кореляції із винесенням $^{90}\text{Sr}$			
		Всі басейни		Лівобережні басейни	
		1997	1998	1997	1998
1	Площа сухих западин, % від площі басейну	0,26	-0,09	<b>0,82</b>	<b>0,66</b>
2	Кількість усіх западин	0,48	<b>0,68</b>	-0,35	-0,25
3	Кількість западин з водою і перезволожених	<b>0,56</b>	<b>0,84</b>	-0,30	-0,16
4	Щільність западин, шт./км <sup>2</sup>	0,19	0,48	<b>0,58</b>	<b>0,58</b>
5	Густина гідромережі, км/км <sup>2</sup>	-0,13	0,09	0,34	0,5
6	Меліорованість, %	-0,02	0,22	0,53	<b>0,56</b>
7	Площа кислих ґрунтів, %	-0,29	-0,15	<b>0,91</b>	<b>0,98</b>
8	Площа нейтральних ґрунтів, %	0,24	0,11	<b>-0,91</b>	<b>-0,88</b>

**Табл. 8.** Ранжування чинників за Спірменом (усі змінні не підпадають під нормальний закон розподілу)  
**Table 8.** Ranking of Spearman factors (all variables do not fall under normal distribution law)

Показники		Коефіцієнти кореляції із винесенням $^{90}\text{Sr}$			
		Всі басейни		Лівобережні басейни	
		1997	1998	1997	1998
1	Площа усіх западин, км <sup>2</sup>	<b>0,63</b>	0,067	-0,29	0,036
2	Площа сухих западин та на піску, км <sup>2</sup>	<b>0,7</b>	0,2	-0,39	0,07
3	Площа сухих западин, % від площі басейну	0,2	0,17	0,39	<b>0,7</b>
4	Площа западин з водою та перезволожених, км <sup>2</sup>	<b>0,75</b>	0,37	-0,4	-0,07
5	Кількість усіх западин	<b>0,77</b>	0,38	0,16	-0,036
6	Кількість западин з водою і перезволожених	0,32	0,25	-0,39	<b>0,57</b>
7	Сума сухих западин і на піску	<b>0,77</b>	0,38	0,036	-0,04
8	Щільність западин, шт./км <sup>2</sup>	0,0	0,28	0,1	<b>0,6</b>
9	Густина гідромережі, км/км <sup>2</sup>	<b>-0,63</b>	-0,35	0,18	0,0
10	Площа кислих ґрунтів, %	-0,3	-0,39	-0,4	<b>0,85</b>
11	Площа нейтральних ґрунтів, %	0,13	0,26	-0,29	<b>-0,78</b>

**Табл. 9.** Чинники впливу на винесення та концентрацію  $^{90}\text{Sr}$  у поверхневих водах на різних етапах після радіоактивного забруднення поверхні водозборів.

**Table 9.** Factors influencing the removal and concentration of  $^{90}\text{Sr}$  in surface waters at different stages after radioactive contamination of the catchment surface

Загальний етап	Тривалість підетапу	Визначальні чинники впливу	
		на об'ємну активність $^{90}\text{Sr}$ у поверхневих водах	на річні обсяги винесення $^{90}\text{Sr}$
1986-1989 значна перевага твердофазних слаборухливих форм $^{90}\text{Sr}$	1986-1989	Частка притоку ґрунтових вод (-) Рівень води в каналі (+)	Кількість сухих западин (-) площа перезволожених западин (-), частка притоку ґрунтових вод (-) площа провідних западин (%) (+) площа кислих ґрунтів (pH < 6) (+) щільність гідромережі (+); відносна площа органічних ґрунтів (-)
1989-1996	1991, 1993-1995  1991-1995 1992, 1995	Швидкість потоку (-)	Площа западин (-)  Щільність гідромережі (+), стік (+), Площа кислих ґрунтів (pH < 6) (+)
1997-2001 (багатоводний)	Не виділено	Швидкість потоку (-) Окиснюваність води (+); рівень води в каналі (+)	Площа западин (-), частка притоку ґрунтових вод (-) Щільність гідромережі (+), кількість перезволожених западин (+), площа провідних западин (+), щільність усіх западин (+); дренажність (+), зарегульованість (+)
2001 -2010 (середня і мала водність)	2001-2004 2004-2010	Швидкість потоку (-) рН води (-) Окиснюваність води (+);	Площа западин (-) Опади (+), стік (+), дренажність (+), щільність гідромережі (+), Частка притоку ґрунтових вод (+) Відносна площа лісу (-), щільність усіх западин (+)
2011-2013 (багатоводний)	Не виділено	Показники хімічного складу води, рН	Відносна площа лісу (-), частка притоку ґрунтових вод (-) Щільність гідромережі (+), опади(+), щільність западин (+), кількість перезволожених западин (+)

(+) – Пряма залежність; (-) – обернена залежність

**Висновки.** Розроблено метод прогнозування водного винесення забруднюючих речовин та їх концентрацій у воді, який спирається на параметризацію чинників впливу або біогеохімічних автореабілітаційних і мобілізаційних функцій водозбірної площі водотоку. Біогеохімічні функції водозбору реалізуються через сукупну дію багатьох статичних та динамічних чинників, серед яких, шляхом кореляційного аналізу, вибираються провідні. Сталі чинники характеризують слабо змінні в часі особливості водозбірної площі, динамічні є проявом добових, сезонних і річних змін метеорологічних та кліматичних умов. За допомогою ретроспективного аналізу досліджено зміни ступеню впливу статичних та динамічних чинників на водне винесення  $^{90}\text{Sr}$  протягом тривалого періоду після аварії на ЧАЕС. Цей період можна розділити на етапи за набором визначальних чинників. У різний час до провідних статичних чинників належали: западинні форми, гідрографічна мережа, площа лісу, тип ґрунту, рН водної витяжки, меліорованість, зарегульованість гідрографічної мережі. Серед динамічних чинників важливу роль у формуванні концентрації  $^{90}\text{Sr}$  у відкритих водотоках посідають окиснюваність, рН води, швид-

кість потоку. Неабияке значення повинні мати коливання рівня ґрунтових вод. Перспективне прогнозування ступеню забруднення ґрунтових вод може бути пов'язане з моделями, у яких комбінуються як статичні, так і динамічні чинники: щільність забруднення водозбірної поверхні, інфільтраційне живлення, потужність зони аерації, середньомісячна температура повітря, кількість опадів тощо.

Представлений методичний підхід може бути ефективним для прогнозування винесення  $^{90}\text{Sr}$  водотоками при ландшафтовідновленні в умовах функціонування Чорнобильського біосферного радіологічного заповідника. Сучасний маловодний період розпочався 2014 року і міг би бути порівняний із періодом 2001-2007 рр., для якого визначено провідні чинники. Проте коректність такого порівняння може бути встановлена лише після уточнення контурів ландшафтів (лісових масивів та боліт), а також відновлення спостережень на тих самих об'єктах, – для уточнення головних чинників впливу на винесення радіонуклідів у нових кліматичних умовах. Це пов'язано із тенденцією зростання середньорічних температур, аномаль-

ним зниженням РГВ, переосушенням одних ландшафтів та заболоченням інших, розширенням площі лісу.

Автори висловлюють подяку Д.В. Чорному за виконання кластерного аналізу та допомогу в оформленні статті.

#### Література

1. Кашпаров В.О. Формування і динаміка радіоактивного забруднення навколишнього середовища під час аварії на Чорнобильській АЕС та в післяаварійний період // Чорнобиль. Зона відчуження [зб.наук.праць]. К.: Наукова думка, 2001. С. 11-46.
2. Шевченко О.Л. Визначення бар'єрної стійкості водозбірних басейнів на основі статистичного аналізу ландшафтних чинників // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, 2016. Вип. 268. С. 82-92.
3. Shevchenko A.L., Charnyi D.V., G.A. Akinfiev and S.I. Kireev. Factors Governing Strontium-90 export with Surface Runoff in the Chernobyl NPP Restricted Zone // Water Resources, 2016. Vol. 43. №3. P.522-532.
4. Закономірності міграції техногенних радіонуклідів на меліоративних системах Чорнобильської зони відчуження (за результатами досліджень 1986-2004 рр.) / [Шевченко О.Л. [та ін.]; гол. ред. В.А. Сташук. Херсон: Олді-плюс, 2011. 415 с.

5. Долін В.В., Бондаренко Г.М., Орлов О.О. Самоочищення природного середовища після Чорнобильської катастрофи. К.: Наукова думка, 2004. 221 с.

6. Шевченко О.Л. Роль западинного мікрорельєфу та інших чинників у формуванні водного винесення радіоактивного стронцію/ О.Л. Шевченко, В.М. Бублясь // Збірник наукових праць УкрДГРІ, 2013, №3 – С. 84-97.

#### References

1. Kashparov, V.O. (2001), Chernobyl. Zona vidchydgenyia, K.: Naukova dumka, pp. 11-46. (Ukr.)
2. Shevchenko, O.L. (2016), Scientific works of the Ukrainian Hydrometeorological Research Institute, 268, pp. 82-92.
3. Shevchenko A.L., Charnyi D.V., G.A. Akinfiev and S.I. Kireev. (2016), Water Resources. Vol. 43. №3. pp.522-532.
4. Shevchenko, O.L. et. al., (2011), Patterns of relationship of migration of mancaused radionuclides on the reclamation systems of the Chernobyl Exclusion Zone (according to the results of the research of 1986-2004), Kcherson, Oldi-plus, 415 p.
5. Dolin, V.V., Bondarenko, G.N., Orlov O.O. (2004), Samoohyschennya pryrodного seredovyzcha pisl'ya Chornobyl's'koyi katastrofy. K.: Naukova dumka, 221 p. (Ukr)
6. Shevchenko, O.L., Bubl'ias', V.M. (2013), Collection of scientific works of UkrDGRI, 3, pp. 84-97.

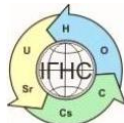
#### GENERALIZATION OF FACTORS FOR THE INVOLVEMENT OF RADIONUCLIDES IN WATER MIGRATION

**Shevchenko O.**, D.Sc. (Geol.), Institute of Geology, Taras Shevchenko Kyiv National University, shevch62@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-5791-5354>

**Akinfiev G.**, Head. Coll., SE "Ukrainian Geological Company"

*This article supplements the previous publication on the principles of radioecological monitoring. It describes in more detail the procedure for the selection of factors affecting the mobilization (or remobilization) and aqueous removal of <sup>90</sup>Sr. This procedure is basic in the methodological approach of prediction of concentrations and aqueous removal of radionuclides by permanent landscape-geochemical and dynamic hydrometeorological factors. The feasibility of this approach is justified by retrospective analysis and significant correlation coefficients between the features of the geological environment and the landscape and the aqueous removal of radionuclides from individual basins. For correct analysis, a planar assessment of landscape-geochemical factors should be provided for at least 8 watersheds in the same meteorological conditions. Generalization of factors, that is, selection of the most influential ones at separate stages of propagation and transformation of radioactive fallout at the catchment area, provides the creation of optimally simplified (unified) empirical regression models of concentration formation and pollutant removal. Generalization involves the consistent use of pairwise, cluster, factor, multiple correlation analyzes. It has been shown that individual landscape-biogeochemical factors have a greater influence on the aqueous deposition of a radionuclide 10 to 15 years after the radioactive fall to the surface than the reserves of this radionuclide in the catchment area. The ultimate goal is to determine the barrier resistance of catchments and the protection (or vulnerability) of surface and groundwater to radioactive contamination by a particular radionuclide.*

**Keywords:** factors, geochemical background, radionuclides water drainage, landscape, radiological indices, catchment basin, multiple correlation analysis, factor analysis, cluster analysis.



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.053>  
УДК 502.65:621.039.75:628.3

**Бондарь Ю. В., Кузенко С. В., Сливинский В. М.**

**Бондарь Ю. В.**, к. геол.-мин. н., ст. н. с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», [juliavad\\_peremoga@ukr.net](mailto:juliavad_peremoga@ukr.net),  
<https://orcid.org/0000-0002-5511-1387>

**Кузенко С. В.**, н. с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

**Сливинский В. М.**, главный программист, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

## **НОВЫЙ КОМПОЗИТНЫЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ С ФЕРРОЦИАНИДНОЙ ФАЗОЙ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ**

*Развитие сорбционных технологий для удаления, разделения и концентрирования радионуклидов является важной проблемой. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка современных методов синтеза эффективных сорбентов. Для селективного выделения радионуклидов особый интерес представляют композитные сорбенты с сорбционно-активной неорганической фазой. Ионообменные смолы являются перспективной матрицей для получения композитных сорбентов путем *in situ* формирования неорганических наночастиц на поверхности/внутри полимерных гранул. В данной статье представлены экспериментальные результаты синтеза композитного сорбента на основе макропористой полистирольной смолы с сульфокислотными группами путем *in situ* формирования сорбционно-активной фазы ферроцианида калия-меди и апробации его для селективного выделения ионов цезия из модельных растворов, содержащих высокие концентрации конкурирующих ионов натрия. Результаты рентгенофазового анализа и электронно-микроскопических исследований подтверждают формирование ферроцианидной фазы на поверхности полимерных гранул в виде плотного равномерного слоя из наноразмерных агрегатов ферроцианида калия-меди. Сорбционные эксперименты показали, что композитные полимерные гранулы с ферроцианидной фазой характеризуются высокой селективностью к ионам цезия в присутствии значительного избытка конкурирующих ионов натрия. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что синтезированный композитный сорбент на основе макропористых полимерных гранул с ферроцианидной фазой представляет интерес для практического использования в процессах сорбционной очистки природных вод и технологических растворов от радионуклидов цезия.*

**Ключевые слова:** композитный сорбент, ионообменная смола, ферроцианид калия-меди, селективность,  $^{137}\text{Cs}$ , жидкие радиоактивные отходы.

### **Введение**

Развитие сорбционных технологий для удаления, разделения и концентрирования радионуклидов как с целью определения их содержания в объектах окружающей среды, так и для очистки технологических растворов предприятий ядерного топливного цикла является важной проблемой, решение которой необходимо для дальнейшего устойчивого развития атомной энергетики Украины.

В связи с этим особую актуальность приобретает разработка современных методов синтеза эффективных сорбентов. Для успешного внедрения сорбенты должны иметь такие характеристики как высокая емкость, селективность к определенному радионуклиду, способность обеспечить очистку больших объемов загрязненных вод, невысокая стоимость.

В практике очистки водных потоков от долгоживущих радионуклидов цезия и стронция, которые находятся в большинстве растворов в ионном состоянии, широкое применение нашли сорбционные методы с использованием как органических, так и неорганических сорбентов. При сорбции этих радионуклидов из мультикомпонентных растворов с высоким содержанием наивысшую эффективность продемонстрировали твердые синтетические неорганические сорбенты, так как они обладают высокой селективностью, химической, термической и радиационной стойкостью [1-3]. Однако этот класс сорбционных материалов не получил широкого внедрения в связи с тем, что такие материалы синтезируют обычно в виде ультрадисперсных частиц, которые малоприспособны для практического использования. Чтобы преодолеть эти недостатки раз-

рабатываются технологии получения композитных сорбентов с сорбционно-активной неорганической фазой. Было предложено два подхода, один из которых состоит в предварительном синтезе мелкодисперсных неорганических частиц и инкорпорации внедрении их в твердую матрицу путем физического смешивания компонентов, а второй – в формировании неорганических частиц *in situ* на поверхности (и в объеме) твердой матрицы. В качестве твердой матрицы были использованы как неорганические (цеолиты, силикагели, гидроксиды титана и циркония, глины и др.), так и органические материалы (полимерные гранулы, волокна, пленки). Выбор твердой матрицы определяется, как правило, активностью загрязненных вод и стратегией последующего обращения с использованным сорбентом [4-8].

Ионообменные смолы являются перспективной матрицей для получения композитных сорбентов с использованием второго подхода - путем *in situ* формирования неорганических наночастиц на поверхности/внутри гранул. Следует отметить, что большинство ионообменных смол (ИОС) являются коммерческим продуктом крупнотоннажного производства и имеют невысокую стоимость. ИОС широко используются на атомных электростанциях для очистки жидких технологических сред с целью контроля их химического состава и снижения радиоактивности. Однако большинство традиционных ИОС не обладают высокой селективностью к радионуклидам цезия и стронция, поэтому их используют для сорбционной очистки растворов с низким содержанием. Очевидно, что внедрение селективной неорганической фазы в матрицу ионообменных смол позволит расширить сферу использования последних. Дополнительным экономическим преимуществом рассматриваемого подхода является возможность получения недорогих селективных сорбентов путем объединения матрицы невысокой стоимости с одностадийным *in situ* процессом синтеза неорганической фазы.

Однако, несмотря на очевидные экономические преимущества и простоту *in situ* синтеза композитных сорбентов на основе ИОС, имеется мало публикаций, в которых рассматриваются особенности их синтеза и использования для сорбции радионуклидов. Так, в работе [4] представлены результаты применения композитного сорбента на основе сульфокатионита КУ-2 и анионита АВ-17 с ферроцианидной фазой для очистки бассейнов выдержки отработанного ядерного топлива. Было показано, что полученный сорбент позволяет увеличить степень очистки вод от  $^{137}\text{Cs}$  более, чем в 10 раз при сохранении высокой степени очистки от  $^{90}\text{Sr}$ . В другой работе [9] упоминается об использовании ком-

позитных сорбентов на основе ионообменных смол КУ-2 и АВ-17, импрегнированных ферроцианидом меди, для определения уровня загрязнения радионуклидами цезия рек Днепр и Десна в начальный период после аварии на Чернобыльской АЭС. Коэффициент улавливания радиоцезия композитными сорбентами составил около 80 %. В нескольких иностранных источниках [10-12] представлены результаты синтеза и использования композитных сорбентов с ферроцианидной фазой на основе коммерческих анионообменных смол для очистки низкоактивных ЖРО и экспресс-определения содержания радионуклидов цезия в природных водах и продуктах питания.

В связи с тем, что в указанных источниках представлено недостаточно информации об особенностях синтеза композитных сорбентов на основе катионообменных смол и перспективах их использования в высокосолевыми растворах, целью данной работы является синтез композитного сорбента на основе макропористой полистирольной смолы с сульфокислотными группами путем *in situ* формирования сорбционно-активной фазы ферроцианида калия-меди и апробация сорбента для селективного выделения ионов цезия из модельных растворов, содержащих высокие концентрации конкурирующих ионов натрия.

### Материалы и методы

В качестве матрицы для синтеза композитного сорбента был выбран макропористый сильнокислотный катионит «Hydrolite ZGC151» (компания «Экофильтр»). Ионообменная смола по своим характеристикам является аналогом таким смолам как Purolite C150, DOW MSC-1, Lewitat SP-112 и др. и по химическому составу аналогична катиониту КУ-2-8. Смола обладает высокой обменной емкостью (~ 4,5 ммоль/г) и физико-химической стабильностью в агрессивных средах (рабочий диапазон pH - 1 – 14). Макропористая структура смолы предопределяет хорошую кинетику ионного обмена, а также улучшенную диффузию вовнутрь/из частиц. Выбранная макропористая полистирольная смола имеет развитую нанопористую структуру с высокой подвижностью полимерной сетки и является «идеальной» матрицей для *in situ* формирования в ней ферроцианидной фазы.

Схема синтеза композитных полимерных гранул с активной фазой ферроцианида калия-меди детально описана в [5]. Морфологию исходных и композитных гранул исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Jeol JSM 6490LV, оснащенного приставкой для энергодисперсионного микро-

анализа INCA Wave (Oxford Instruments). Перед исследованием образцы напыляли платиной. Фазовый состав синтезированного образца определяли методом рентгенофазового анализа. Съемку проводили на дифрактометре ДРОН-3 (Cu<sub>Kα</sub> излучение, область сканирования 2θ = 10 - 60° в режиме пошагового сканирования).

Исследование сорбции ионов цезия проводили в статических условиях. В серию пробирок помещали полимерные гранулы (0,05 г), добавляли 15 мл раствора стабильного цезия (CsCl) с начальной концентрацией C<sub>0</sub> и выдерживали 48 ч при комнатной температуре. Раствор отфильтровывали через бумажный фильтр «синяя лента» и определяли в нем концентрацию цезия с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра (модель АА-8500, Nippon Jarrell Ash Co Ltd., Япония).

Адсорбцию цезия (A<sub>Cs</sub>, мг/г) рассчитывали по формуле

$$A_{Cs} = \frac{C_0 - C_\tau \cdot V}{m},$$

где C<sub>0</sub>, C<sub>τ</sub> – исходная и текущая концентрации цезия в исследуемом растворе соответственно, мг/л; V – объем раствора, л; m – масса образца, г

Эффективность адсорбции, или степень извлечения ионов цезия из раствора (E, %), определяли как

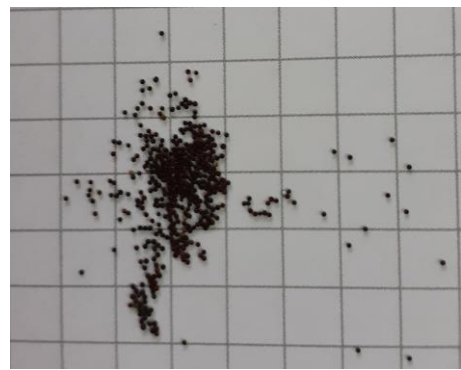
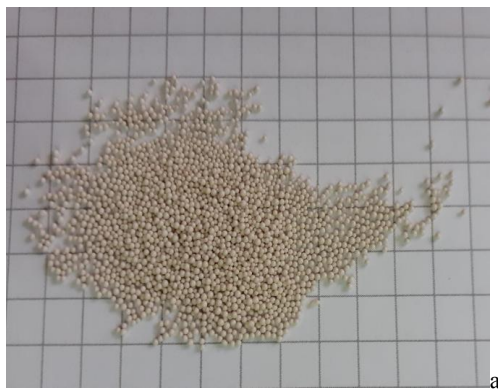
$$E = \frac{C_0 - C_\tau}{C_0} \cdot 100$$

Все используемые реагенты были марки «хч» или «осч». Для приготовления растворов использовали дистиллированную воду.

### Результаты и их обсуждение

Хорошо известно, что нерастворимые двойные ферроцианиды двухвалентных переходных металлов являются высокоселективными сорбентами для радионуклидов цезия в широком диапазоне pH [2-8, 13]. Однако нерастворимые ферроцианиды синтезируют обычно в виде ультрадисперсных частиц, которые мало пригодны для практического использования в связи с их низкой механической стойкостью и пептизацией в слабоминерализованных и щелочных растворах. Чтобы преодолеть эти недостатки нами были проведены исследования по синтезу композитного сорбента с использованием ионообменной смолы в качестве матрицы-носителя для ферроцианидной фазы.

Исходная смола представляет собой мелкие сферические гранулы (0,12 – 0,15 мм) бежевого цвета (рис 1 а). После осаждения фазы ферроцианида калия-меди (ФЦ(К-Сu)) бежевый цвет исходных гранул изменился на темно-коричневый (рис. 1 б).

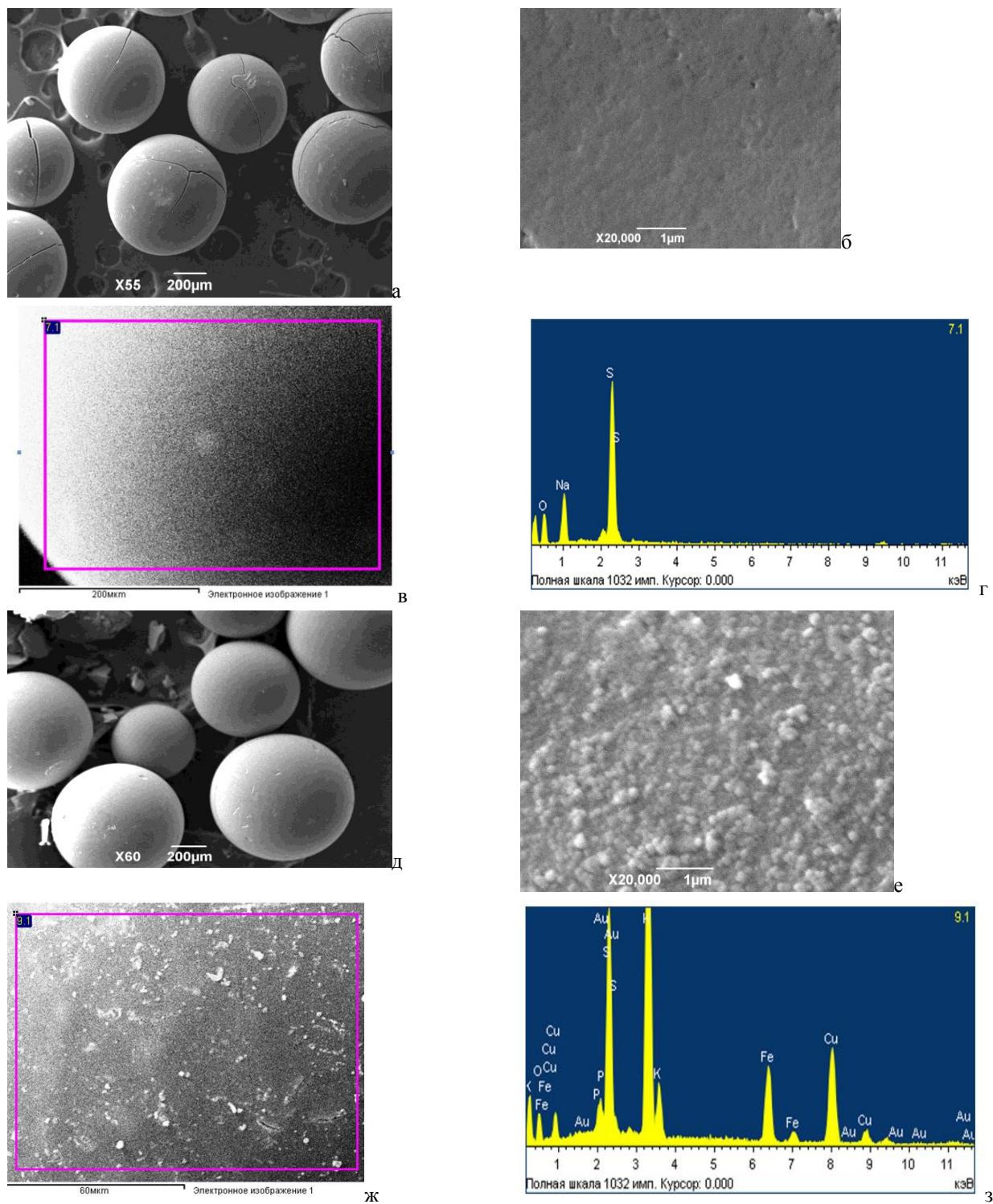


**Рисунок 1.** Гранулы исходной ионообменной смолы (а) и композитные гранулы с фазой ферроцианида калия-меди (б)

**Figure 1.** Original polymer granules (a) and composite granules with the K-Cu ferrocyanide phase (б)

На микрофотографиях, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа, можно видеть гладкую текстуру исходных полимерных гранул (рис. 2 а, б). Результаты микроанализа в отмеченной области показывают в составе гранул наличие элементов, характерных для полимерного катионита с сульфогруппами - S, O, Na (рис. 2 в, г).

На СЭМ изображениях композитных гранул видно, что ферроцианидная фаза формируется на поверхности гранул в виде наноразмерных агрегатов, которые составляют плотный равномерный слой (рис. 2 д, е). Результаты микроанализа в отмеченной области на поверхности гранулы показывают наличие элементов, соответствующих составу ферроцианида калия-меди – K, Cu, Fe (рис. 2 ж, з).

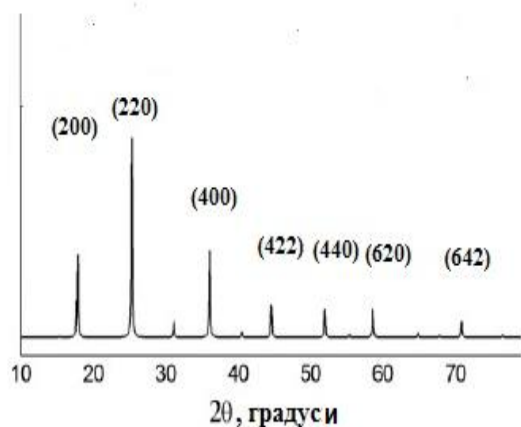


**Рисунок 2.** СЭМ изображения исходных полимерных гранул (а-г) и композитных гранул с фазой ФЦ (К-Сu) (д-з)

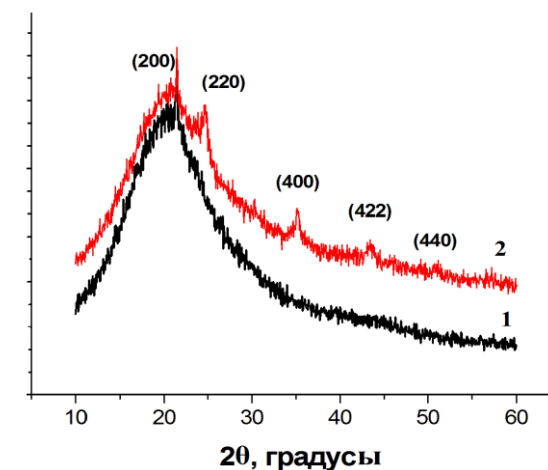
**Figure 2.** SEM images of the original polymer granules (a-г) and composite granules with the K-Cu ferrocyanide phase (д-з)



Образование ферроцианидной фазы на поверхности гранул подтверждается также данными рентгенофазовых исследований. При сопоставлении типичной рентгеновской дифрактограммы микрокристаллов ФЦ(К-Ni) (рис. 3 а), представленной в [14], с дифрактограммами исходных полимерных гранул (рис. 3 б (1)) и композитных гранул с осажденным слоем ФЦ(К-Cu) (рис. 3 б (2)) можно видеть, что пики на дифрактограмме композитных гранул являются



а



б

**Рисунок 3.** (а) Типичная рентгеновская дифрактограмма ФЦ(К-Ni); (б) дифрактограммы исходных (1) и композитных полимерных гранул с фазой ФЦ(К-Cu) (2)

**Figure 3.** (a) Typical X-ray diffractogram of the K-Ni ferrocyanide; (б) X-ray diffractograms of the original (1) and composite polymer granules with the K-Cu ferrocyanide phase (2)

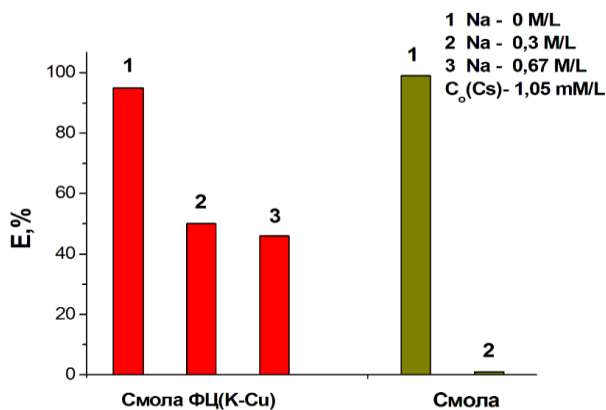
Нерастворимые двойные ферроцианиды проявляют высокую селективность по отношению к ионам цезия. Ряд селективности имеет вид:  $Cs^+ > Rb^+ > K^+ > NH_4^+ > Na^+ \approx H^+ > Li^+$  [13]. Это значит, что в мультикомпонентных растворах, которые содержат наряду с ионами цезия ионы щелочных металлов, двойные ферроцианиды будут извлекать преимущественно ионы цезия. Однако присутствие в растворе конкурирующих ионов  $Na^+$ ,  $NH_4^+$  и  $K^+$  может приводить к существенному снижению адсорбционных параметров.

Процесс сорбции ионов цезия исходными и композитными гранулами с ферроцианидной фазой изучали с использованием модельных растворов с одинаковой концентрацией ионов цезия (~ 140 мг/л (или 1,05 ммоль/л)) и близкими значениями pH (~ 6,5-7). Растворы подобраны так, чтобы оценить способность синтезированных композитных гранул селективно извлекать ионы цезия из мультикомпонентных растворов в присутствии большого избытка конкурирующих ионов натрия. Первый раствор содержит ионы цезия и является однокомпонентным по катиону раствором. Второй и третий растворы – двухкомпонентные растворы, которые содержат наряду с ионами цезия ионы натрия (0,3 и 0,67 моль/л, соответственно). Результаты определения степени извлечения ионов цезия исходными и композитными полимер-

наложением пиков дифракции исходных полимерных гранул и ферроцианидной фазы. На дифрактограмме композитных гранул появляются новые пики при  $2\theta = 17,5^\circ, 25,1^\circ, 35,6^\circ, 44,5^\circ$  и др., положение и интенсивность которых идентичны пикам фазы ферроцианида калия-никеля, что указывает на присутствие в составе композитов новой кристаллической фазы с гранецентрированной кубической решеткой.

ными гранулами с фазой ФЦ(К-Cu) после двух дней сорбции представлены на рис. 4. Представленные результаты показывают, что исходные полимерные гранулы эффективно сорбируют ионы цезия из однокомпонентного раствора – степень извлечения достигает 98,8 %. Однако в присутствии большого избытка конкурирующих ионов натрия (модельные растворы 2 и 3) сорбции ионов цезия не происходит. Это связано с тем, что исходная смола с сульфогруппами не обладает селективными свойствами по отношению к ионам цезия, поэтому в растворах со значительным избытком конкурирующих ионов натрия адсорбция ионов цезия настолько низкая, что зафиксировать ее невозможно.

Композитные гранулы с фазой ФЦ(К-Cu) также эффективно сорбируют ионы цезия из однокомпонентного раствора; степень извлечения достигает 98,0 %. Однако в отличие от исходной смолы они также эффективно связывают ионы цезия и в модельных растворах, содержащих высокие концентрации конкурирующих ионов натрия. Например, степень извлечения ионов цезия из второго модельного раствора ( $Na^+$  - 0,3 моль/л) достигает 51%; при сорбции из третьего раствора ( $Na^+$  - 0,67 моль/л) наблюдается незначительное уменьшение  $E$  - до 49%.



**Рисунок 4.** Степень извлечения ионов цезия исходными и композитными полимерными гранулами с фазой ФЦ(К-Сu) из одно- и мультикомпонентных модельных растворов. Время сорбции - 48 часов

**Figure 4.** Adsorption efficiency of Cs ions by the original and composite polymer granules with the K-Cu ferrocyanide phase from mono- and multicomponent model solutions. Adsorption time – 48 h

Полученные результаты согласуются с литературными данными для полимерных гранул с сульфогруппами в том, что минерализация растворов оказывает существенное влияние на их адсорбционные параметры [3]. В тоже время, сорбенты на основе двойных ферроцианидов, согласно литературным данным, характеризуются высокой селективностью к ионам цезия и присутствие в растворе ионов натрия до 1 моль/л практически не оказывает влияния на их адсорбционные параметры [3, 5-7, 9]. Полученные нами результаты показывают, что осаждение ферроцианидной фазы на поверхность полимерных гранул с сульфогруппами приводит к появлению у композитных гранул селективных свойств к ионам цезия, характерных для ферроцианидной фазы, что проявляется в эффективной адсорбции ионов цезия из мультикомпонентных растворов с высоким содержанием.

Из многочисленных литературных источников известно, что сорбенты на основе нерастворимых двойных ферроцианидов эффективно поглощают цезий из мультикомпонентных растворов в широком диапазоне pH. При этом адсорбция растет с увеличением pH от 2 до 5 - 7 с последующим небольшим ростом (или стабильным значением) к pH 9 - 10. Было показано, что низкие значения адсорбции в кислых растворах связаны с конкуренцией между ионами  $H^+$  и  $Cs^+$ . При значениях pH меньших, чем 2 и больших, чем 11 происходит разложение ферроцианидов и адсорбция ионов цезия резко падает [13]. С другой стороны имеются данные, свидетельствующие, что свойства ферроцианидных сорбентов также зависят от способа их получения. Например, в работе [15] авторы, проводя детальное исследование химической и термической стабильности гранул ферроцианида калия-

никеля ( $d < 0,15$  мм), полученных при разных экспериментальных условиях, показали, что ряд синтезированных гранул обладает химической стабильностью в 8 М HCl или 8 М  $HNO_3$  (24 ч, 20 °C) и разлагается в щелочных растворах с концентрацией NaOH выше 1 М.

На рисунке 5 представлена зависимость степени извлечения ионов цезия композитными гранулами с фазой ФЦ(К-Сu) из мультикомпонентных растворов с разными значениями pH. Можно видеть, что значение E не меняется при переходе от кислого раствора (pH ~ 2) к нейтральному и немного увеличивается в щелочном растворе (pH ~ 9).

Хорошо известно, что катионы металлов, адсорбированные ионообменными смолами с сульфогруппами, могут быть десорбированы с помощью растворов кислот. В тоже время для ферроцианидных сорбентов характерна сильная фиксация адсорбированных ионов цезия внутри сорбента. Например, в работе [16] было показано, что десорбция ионов цезия из ферроцианидных сорбентов с помощью однолярных растворов KCl и HCl в течение 24 ч составила 4,5% и 0,8%, соответственно.

Нами было проведено исследование десорбции ионов цезия с помощью растворов 0,1 М HCl, 0,5 М KCl и 1М  $NH_4NO_3$ . Полученные результаты показывают (рис.6), что после десорбции из композитных гранул в течение 24 часов в кислотном растворе оказалось 7 % адсорбированных ионов цезия, а в растворе хлорида калия – 20%. В результате десорбции из композитных гранул в течение 5 суток в 1М  $NH_4NO_3$  растворе оказалось 25% адсорбированных ионов цезия.

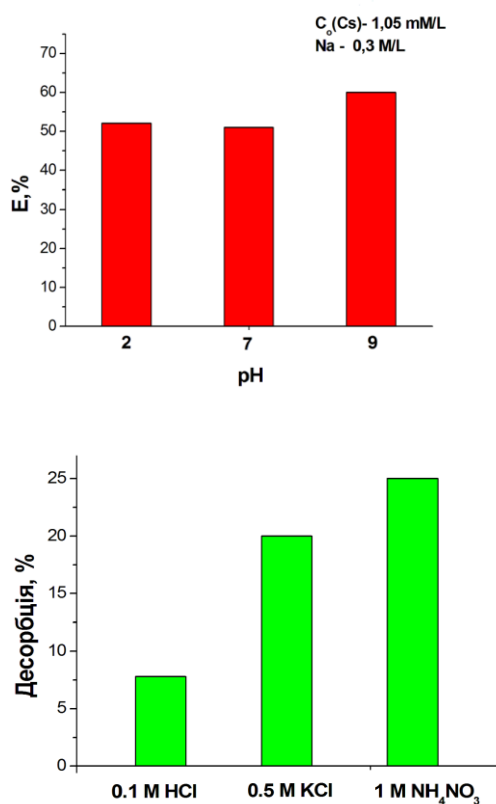
## Выводы.

Синтезирован композитный сорбент для селективного извлечения ионов цезия из загрязненных вод путем *in situ* осаждения фазы ферроцианида калия-меди на поверхность макропористых полимерных гранул с сульфогруппами. Результаты рентгенофазового анализа и электронно-микроскопических исследований подтверждают формирование ферроцианидной фазы на поверхности гранул в виде плотного равномерного слоя из наноразмерных агрегатов.

Сорбционные эксперименты с использованием стабильного нуклида цезия показали, что композитные полимерные гранулы с ферроцианидной фазой характеризуются высокой селективностью к ионам цезия в присутствии значительного избытка конкурирующих ионов натрия, при этом pH раствора (от 2 до 9) слабо влияет на их адсорбционные параметры. Для синтезированных композитных полимерных гранул характерна достаточно сильная фиксация адсорбированных ионов цезия внутри сорбента.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что синтезированный композитный сорбент на основе макропористых полимерных гранул с ферроцианидной фазой представляет интерес для

практического использования в процессах сорбционной очистки природных вод и технологических растворов от радионуклидов цезия.



**Рисунок 5.** Зависимость степени извлечения ионов цезия композитными полимерными гранулами с фазой ФЦ(К-Сu) от pH раствора

**Figure 5.** Effect of pH on the adsorption efficiency of cesium ions onto the composite polymer granules with the K-Cu ferrocyanide phase

**Рисунок 6.** Десорбция ионов цезия из композитных гранул с фазой ФЦ(К-Сu) в растворах 0,1 М HCl, 0,5 М KCl (1 день) и 1М NH₄NO₃ (5 дней)

**Figure 6.** Desorption of cesium ions from the composite polymer granules with the K-Cu ferrocyanide phase in 0,1 M HCl, 0,5 M KCl solutions (1 day) and in 1M NH₄NO₃ solution (5days)

### Литература

1. Waste treatment and immobilization technologies involving inorganic sorbents: IAEA-TECDOC-947. Vienna : IAEA, 1997. 238 p.

2. Мясоедова Г.В., Никашина В.А. Сорбционные материалы для извлечения радионуклидов из водных сред. *Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева*. 2006. L (5). с. 55—63.

3. Милютин В.В., Некрасова Н.А., Харитонов О.В., Фирсова Л.А., Козлитин Е.А. Сорбционные технологии в современной прикладной радиохимии. *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2016. 16(3). с.313-322.

4. Epimakhov V., Moskvina, L., Chetverikov V., et al. Treatment of water from spent nuclear fuel storage basins with ion-exchange resins modified with transition metal hexacyanoferrates. *Radiochemistry*. 2010. 52, p.610–612

5. Bondar Yu., Kuzenko S., Han D-H. Development of novel nanocomposite adsorbent based on potassium nickel hexacyanoferrate-loaded polypropylene fabric. *Nanoscale Res. Lett.* 2014. 9. p. 180.

6. Vincent T., Vincent C., Guibal E. Immobilization of Metal Hexacyanoferrate Ion-Exchangers for the Synthesis of Metal Ion Sorbents - A Mini-Review. *Molecules*. 2015. 20. p. 20582 – 20613.

7. Galysh V.V., Kartel M.T., Milyutin V.V., et al. Composite cellulose-inorganic sorbents for <sup>137</sup>Cs recovery. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2014. 301(2). p. 315 - 321.

8. Воронина А. В, Куляева И. О., Гупта Д. К. Определение параметров селективной сорбции Cs природными и модифицированными ферроцианидами глауконитом и кли-

ноптилолитом. *Радиохимия*. 2018. 60 (1). с. 35-40.

9. Епифанов А.О., Епифанова И.Э. Использование композитных сорбентов на основе гексацианоферратов для концентрации радиоцезия при проведении радиологического мониторинга природных вод. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. 11 (1). с. 181-187.

10. Watari K., Imai K., Ohmomo Y., et al. Simultaneous adsorption of Cs-137 and I-131 from water and milk on metal ferrocyanide-anion exchange resin. *J. Nucl. Sci. Technol.* 1988. 25 (5). p. 495–499.

11. Won H.-J., Moon J.-K., Jung C.-H., et al. Evaluation of ferrocyanide anion exchange resins regarding the uptake of Cs+ ions and their regeneration. *Nuclear Engineer. Technol.* 2008. 40 (6). p. 489–496.

12. Valsala, T.P., Roy, S.C., Shah, J.G., et al. Removal of radioactive caesium from low level radioactive waste (LLW) streams using cobalt ferrocyanide impregnated organic anion exchanger. *J. Hazard. Mater.* 2009. 166. p.1148–1153.

13. Тананаев И.В., Сейфер Г. Б., Харитонов Ю. Я. и др. Химия ферроцианидов. - М.: Наука, 1971. 320 с.

14. Chang C-Y., Chau L-K., Hu W-P., et al. Nickel hexacyanoferrate multilayers on functionalized mesoporous silica supports for selective sorption and sensing of cesium. *Micropor. Mesopor. Mat.* 2008. 109 (1-3). p. 505—512

15. Mimura H., Lehto J., Harjula R. Chemical and Thermal Stability of Potassium Nickel Hexacyanoferrate(II) . *J. Nucl. Sci. Technol.* 1997. 34(6). p. 582 - 587.

16. Didukh M. I., Lazaryev M. M. Use of natural minerals as sorbents of radiocaesium in agricultural production. *Вісник*

## References

1. *Waste treatment and immobilization technologies involving inorganic sorbents* (1997), IAEA-TECDOC-947, Vienna
2. Myasoedova, G. V., Nikashina, V. A. (2006), *Ros. him. zh. (Zh. Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva)*, L (5), pp. 55—63. (Russ.).
3. Milyutin, V.V., Nekrasova, N.A., Haritonov, O.V., et al. (2016), *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 16(3), pp 313—322. (Ru.).
4. Epimakhov, V., Moskvina, L., Chetverikov, V., et al. (2010), *Radiochemistry*, 52, pp.610—612.
5. Bondar, Yu., Kuzenko, S., Han, D-H. (2014), *Nanoscale Res. Lett.*, 9, p. 180.
6. Vincent, T., Vincent, C., Guibal, E. (2015), *Molecules*, 20, pp. 20582 – 20613.
7. Galysh, V.V., Kartel, M.T., Milyutin, V.V., et al. (2014), *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 301(2), pp. 315 - 321.
8. Voronina, A. V., Kulyaeva, I. O. & Gupta, D. K. (2018), *Radiochemistry*, 60 (1), pp. 35-40.
9. Epifanov A.O., Epifanova I.E. (2018), *international journal of applied and fundamental research* 11 (1). pp. 181-187. (Russ.).
10. Watari K., Imai K., Ohmomo Y., et al. (1988), *J. Nucl. Sci. Technol.*, 25 (5), pp. 495—499.
11. Won H.-J., Moon J.-K., Jung C.-H., et al. (2008). *Nuclear Engineer. Technol.* 40 (6). pp. 489—496.
12. Valsala, T.P., Roy, S.C., Shah, J.G., et al. *J. Hazard. Mater.* 2009. 166. pp.1148—1153.
13. Tananaev, I.V., Saifer, G.B., Kharitonov, Yu.Ya. et al. (1971), *Ferrocyanide chemistry*, Nauka, Moskva, 320 p. (Russ.).
14. Chang, C-Y., Chau, L-K., Hu, W-P., et al. (2008), *Micropor. Mesopor.*, 109 (1-3), pp. 505—512
15. Mimura, H., Lehto, J., Harjula, R.(1997). *J. Nucl. Sci. Technol.*, 34(6), pp. 582 - 587.
16. Didukh, M. I., Lazaryev, M. M. (2010), *VZNAU*, N1 (47, 1), pp.3-10. (UA).

## NOVEL COMPOSITE ADSORBENT BASED ON ION EXCHANGE RESIN WITH FERROCYANIDE PHASE FOR SELECTIVE REMOVAL OF CESIUM RADIONUCLIDES

**Bondar Yu.**, Senior scientist, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

**Kuzenko S.**, Scientist, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

**Slyvinsky V.**, Chief programmer, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

*The development of sorption technologies for the removal, separation, and concentration of radionuclides is an actual problem. In this respect the development of modern fabrication approaches of efficient adsorbents become especially relevant nowadays. Composite adsorbents with a sorption-active inorganic phase are of particular interest for selective removal of radionuclides. Ion exchange resins are a promising solid support matrix for fabrication of composite adsorbents by formation of inorganic nanoparticles on the surface/inside polymer granules by one stage experiment in situ. This article presents the experimental results on the fabrication of novel composite adsorbent based on macroporous polystyrene resin with sulfonic acid groups by in situ formation of potassium-nickel ferrocyanide phase and its application for selective removal of cesium ions from the model solutions with high concentrations of competitive sodium ions. The obtained results of X-ray diffraction and scanning electron-microscopy studies confirm the formation of a ferrocyanide phase on the surface of polymer granules in the form of dense uniform layer of nanoscaled aggregates of potassium-copper ferrocyanide. Sorption experiments showed that composite polymer granules with the ferrocyanide phase are characterized by high selectivity to cesium ions in the presence of a significant excess of competitive sodium ions. The performed studies allow concluding that the synthesized composite adsorbent based on macroporous polymer granules with the ferrocyanide phase is of interest for practical use in sorption purification of natural waters and technological solutions from cesium radionuclides.*

**Keywords:** composite adsorbent, ion exchange resin, potassium-copper ferrocyanide, selectivity, <sup>137</sup>Cs, liquid radioactive waste.

## НОВИЙ КОМПЗИТНИЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВІ ІОНООБМІННОЇ СМОЛИ З ФЕРОЦІАНІДНОЮ ФАЗОЮ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ВИЛУЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ ЦЕЗІЮ

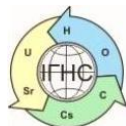
**Бондар Ю.В.** к.геол.-мін.н., ст.н.с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», juliavad\_peremoga@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5511-1387>

**Кузенко С.В.** н.с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

**Сливінський В. М.** гол. програміст ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

*Розвиток сорбційних технологій для видалення, розділення і концентрування радіонуклідів є важливою проблемою. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка сучасних методів синтезу ефективних сорбентів. Для селективного видалення радіонуклідів особливий інтерес представляють композитні сорбенти з сорбційно-активною неорганічною фазою. Іонообмінні смоли є перспективною матрицею для синтезу композитних сорбентів шляхом in situ формування неорганічних наночастинок на поверхні /всередині полімерних гранул. У даній статті наведено експериментальні результати синтезу композитного сорбенту на основі макропористої полістирольної смоли з сульфокислотними групами шляхом in situ формування сорбційно-активної фази фeroціаніду калію-міді і апробації його для селективного видалення іонів цезію з модельних розчинів, що містять високі концентрації конкуруючих іонів натрію. Результати рентгенофазового аналізу і електронно-мікроскопічних досліджень підтверджують формування нової фeroціанідної фази на поверхні полімерних гранул у вигляді цільного рівномірного шару з фeroціаніду калію-міді у вигляді нанорозмірних агрегатів. Сорбційні експерименти показали, що композитні полімерні гранули з фазою фeroціаніду калію-міді характеризуються високою селективністю до іонів цезію в присутності значного надлишку конкуруючих іонів натрію. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що синтезований композитний сорбент на основі макропористих полімерних гранул з фазою фeroціаніду калію-міді становить інтерес для практичного використання в процесах сорбційної очистки природних вод і технологічних розчинів від радіонуклідів цезію.*

**Ключові слова:** композитний сорбент, іонообмінна смола, фeroціанід калію-міді, селективність, <sup>137</sup>Cs, рідкі радіоактивні відходи



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.061>  
УДК 550.7:614(477.41/42)

**Ярошук М.А., Вайло А.В., Ганевич А.Е., Ноженко А.В.**

**Ярошук М.А.** д.г.-м.н., в.н. с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», marina\_yaroshchuk@meta.ua, orcid.org/0000-0002-8380-6362

**Вайло А.В.** к.геол.-мин. н., ст.н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», alexv54@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9540-2448

**Ганевич А.Е.**, н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», 19ganevich@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8594-7532

**Ноженко А.В.** м.н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», noolvo@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0922-9042

## ГЕОАКТИВНЫЕ ЗОНЫ – ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА ЭКОЛОГИЮ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*В результате урбанизации создается новая экологическая среда с высокой концентрацией антропогенных и техногенных факторов, которые воздействуют на горожан в условиях больших городов и мегаполисов. При этом на человека, как и на биоту в целом, дополнительно отрицательно влияют еще и глобальные космические и геологические факторы. В данной статье на основе анализа обширного материала рассмотрены геологические факторы, к которым относятся неоднородности земной коры в виде крупных протяженных зон разрывных тектонических нарушений и напряжений, активных разломов, относящихся к геоактивным зонам, и более локальных участков в пределах последних с проявлением различных аномальных физических полей, определяемых как геопатогенные зоны. Существование геоактивных зон и аномальных полей, которые влияют на среду обитания человека, делают актуальным изучение таких зон в пределах крупных городов и урбанизированных территорий. В статье приведены геологические и структурные характеристики и внутренняя морфология геоактивных разломных зон. Показано, что породы, участвующие в их строении, и протекающие в них физико-химические процессы имеют аномальные свойства, которые непостоянны и зависят от времени, глубины заложения зон, уровня их эродированности и, особенно, неотектонической активности. Охарактеризованы геоактивные зоны (активизированные глубинные разломы) на территории Киева и Киевской области (Киевский геодинамический полигон). Рассмотрены различные виды энергии, сосредоточенные в геоактивных зонах (механическая, магнитная, электромагнитная, гравитационная, тепловая, радиационная) и их суммарное влияние на физико-химические процессы. Дана оценка возможного суммарного влияния этих процессов на формирование рельефа, тип растительности, устойчивость техногенных объектов, а также на живую материю (в частности, здоровье и психическое состояние человека). Определены направления дальнейших исследований.*

**Ключевые слова:** геоактивная зона, геопатогенная зона, неоднородность геологической среды, физическое поле, геоаномальное поле, биополе, геоэнергетические особенности, патогенное воздействие, неотектонические движения, геолого-геофизические методы, биолокация

### Введение

Среда обитания живых организмов, возможно, и растений, определяется совокупностью глобальных космических и геологических факторов и вклада каждого из них в определённые отрезки времени. В пределах урбанизированных территорий на эти глобальные факторы накладываются более локальные техногенные, что еще более усложняет условия жизни человека. Из упомянутых выше факторов в данном обзоре рассмотрены те неоднородности геологической среды, которые обуславливают целый ряд следствий, важных для здоровья живых организмов, а также техногенной деятельности человека.

### Характеристика геоактивных зон

Неоднородность геологической среды прежде всего определяется тектонической стабильностью геологических блоков, активностью разделяющих их раз-

ломов, составом и физическими свойствами слагающих пород (трещиноватостью, обводненностью, геохимическими особенностями).

Известны, например, данные о неблагоприятном влиянии на человека красноцветных глин, дикинетомовых сланцев, радиоактивных и редкоземельных элементов [1]. Ильменитсодержащие пески и кварциты рассматриваются в качестве наиболее благоприятной среды. Различия в составе пород и их тектонической напряженности служат фактором формирования рельефа.

Наиболее сильно породы отличаются в разломах, разделяющих различные по возрасту и составу блоки и относящихся к геоактивным зонам (ГАЗ). К зонам разломов приурочены базиты, ультрабазиты, различные метасоматиты, рудные концентрации, нефтяные залежи. Породы зон разломов имеют повышенную

трещиноватость, флюидопроводимость и пр.

В зависимости от протяженности выделяются глобальные (от сотен до тысяч км), трансрегиональные (более 90 км), региональные (30–90 км) и локальные (менее 30 км) зоны, расстояние между которыми составляет около 0,1–0,3 части их длины. В зависимости от состояния (положения) соседних блоков выделяются взбросы, надвиги, подвиги, сдвиги. В пределах протяженных зон устанавливаются ступени разного уровня эрозионного среза.

Большое значение имеет внутренняя морфология ГАЗ, в частности, плоскости наклона тектонических швов; в зависимости от чего разломы бывают закрытыми, крылья которых соприкасаются под острым углом и открытыми, крылья которых расходятся. Наряду с прямолинейными выделяются дуговые (кольцевые) системы разломов [2, 3].

Наличие в ГАЗ пород с аномальными свойствами, а также целого ряда физико-химических процессов, протекающих в пределах этих зон, определяет возможности и геофизических методов их трассирования по магнитным, гравитационным, тепловым, газовым и фильтрационным полям. Отличие форм рельефа, типов растительности, степени обводненности, типов облачности позволяет использовать дистанционные аэрокосмические методы.

Наряду с геолого-геофизическими методами при трассировании ГАЗ широко также используются биолокационные методы, основанные на распознавании этих зон человеком, чутко улавливающим геоаномальные поля и поведении людей, животных в пределах этих полей. Приведены данные о связи культовых сооружений с разноориентированными ГАЗ.

Аномальные поля и явления в пределах ГАЗ не являются постоянной величиной, зависят от времени, глубины заложения зон, уровня их эродированности и, особенно, неотектонической активности. Существует связь между целым рядом галактических циклов, обусловленных, например, противостоянием планет и активизацией ГАЗ в результате нарушения гравитационной устойчивости Земли [4]. Приводятся данные о цикличности расширения и сжатия разломов: максимум расширения приходится на середину нечетных месяцев, а максимум сжатия – на середину четных [5].

Существование ГАЗ и бесспорное влияние их на среду обитания делают актуальным трассирование и специальное изучение таких зон в пределах крупных городов.

В последние годы по этим проблемам проводились исследования в Мадриде, Праге, Лондоне, Москве, Санкт-Петербурге, Уфе, Новосибирске.

Результаты этих исследований в Киеве выразились в построении гравитационных, магнитных, сейсмиче-

ских карт, карт новейшей тектоники [6] (рис. 1), карты природных геоактивных зон масштаба 1: 100 000 [7].

Киев расположен в области сочленения двух крупных мегаструктур – Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины, а более конкретно – на границе двух геоблоков – Макаровского и Бориспольского (более опущенного и менее эродированного). Эти блоки граничат по субмеридиональному Дарницкому разлому, вдоль которого трассируется северная часть р. Днепр. На территории Киева пересекаются северо-западная региональная более древняя Днепровская ГАЗ (которая состоит из Киевского, Ворзельского и Боярского разломов и имеет ширину от 7 км на севере до 23 км на юге) с северо-восточной более молодой Немировской зоной. Разломы трассируются в виде линейных зон высоких градиентов гравитационных и магнитных полей, зон повышенных сопротивлений [8].

Докембрийский фундамент находится на глубинах около 100 м в районе озера Плесецкое и погружается до 750 м в районе с. Богдановка. По Днепровской зоне, по данным ГСЗ, фиксируется ступень в поверхности Мохо с амплитудой в 70–80 км.

В фундаменте Бориспольского блока преобладают аплиты-пегматоидные граниты уманского комплекса с реликтами гранитоидов звенигородского комплекса. На западе Макаровского блока развиты плагиограниты звенигородского комплекса с реликтами метаморфитов росинско-тикичской серии, что обуславливает более интенсивное гравитационное поле этого блока и наличие Фастовско-Бородянского гравитационного максимума.

Ориентировка долины р. Днепр на севере, видимо, подчинена субмеридиональному Дарницкому, а на юго-востоке – северо-западному Киевскому разломам.

Установлена активизация северо-западных и субмеридиональных разломов в раннем антропогене; участки активизации отмечены на пересечении северо-западного Киевского и субширотных разломов в районе Троещины и Вышгорода. Скорость неотектонических движений около 0,01 см/км/тыс. лет. Нестабильность гравитационного поля отмечена в Ирпенском разломе, а магнитного – в разломе, разделяющем Бориспольский и Киевский блоки.

Активизация субширотных (Гостомельский, Святошинский, Глевахский) и северо-восточных разломов происходила в посленеогеновое время. В пределах Киева установлены блоковые поднятия в районах Пуца-Водица–Виноградарь, Сырець–Вышгород.



**Рис. 1.** Неотектоника Киевского геодинамического полигона [6]. Условные обозначения на следующей странице. 1 - Изобары суммарных амплитуд неотектонических движений земной коры, м; 2 - изограды средних скоростей неотектонических движений земной коры (см/км, тыс. лет) 3 - разломы, выявленные в кристаллическом фундаменте, неотектоническая активность которых подтверждается геолого-геоморфологическими данными; 4 - Разломы, выявленные в кристаллическом фундаменте, неотектоническая активность которых в данное время не подтверждена по геолого-геоморфологическим признакам; 5 - разломы предполагаемые, неотектоническая активность которых подтверждается геолого-геоморфологическими данными; 6 - Линеаменты, выделенные по ландшафтным и геоморфологическим признакам; кинематические типы разломов: 7 - сбросо-сдвиг, 8 - сброс, 9 - с неустановленным типом перемещений; 10 - абсолютная отметка поверхности кристаллического фундамента; 11 - градиент средней скорости неотектонических движений земной коры; 12 - кусты глубинных реперов, совмещенные с пунктами GPS; 13 - граница Украинского щита; 14 - граница Киевского геодинамического полигона.



**Fig. 1.** Neotectonics of the Kyiv geodynamic test site. 1 – isobars of the total amplitudes of neotectonic movements of the earth's crust, m; 2 – isograds of average speeds of neotectonic movements of the earth's crust (cm/km, thousand years); 3 – faults identified in the crystalline basement, the neotectonic activity of which is confirmed by geological and geomorphological data; 4 – faults identified in the crystalline basement, the neotectonic activity of which is not currently confirmed by geological and geomorphological features; 5 – anticipated faults, whose neotectonic activity is confirmed by geological and geomorphological data; 6 – lineaments identified by landscape and geomorphological features; kinematic types of faults: 7 – fault-shift, 8 – fault, 9 – unspecified type of displacement; 10 – absolute elevation of the surface of the crystalline basement; 11 – gradient of average velocity of neotectonic movements of the earth's crust; 12 – bushes of deep benchmarks, combined with GPS points; 13 – border of the Ukrainian shield; 14 – border of the Kyiv geodynamic test site..

Неотектонические движения были более активными в Макаровском блоке (амплитуды около 170–180 м) по сравнению с Бориспольским (амплитуда около 150 м). Речная сеть Киева сформировалась в ранне-четвертичную эпоху. По степени возможной сейсмической сотрясаемости Киев отнесен к 5-ти бальной шкале, однако исследователи полагают, что нужно относить к 6-бальной шкале [9].

В субмеридиональной Днепровской зоне было отмечено усиление трещиноватости во время 4-х бального землетрясения в 1990 году.

Другой относительно хорошо изученный по данной проблеме район – это территория Санкт-Петербурга, расположенного на сочленении Балтийского щита с Русской плитой; в его пределах установлены разломы альпийского, герцинского и каледонского возрастов, активизация которых проходила неоднократно.

По узору пересечения многочисленных разломов территория Санкт-Петербурга напоминает «битую тарелку». Половина города находится над зонами повышенной проницаемости, а 5–10 % – над ГАЗ.

Зона разломов определяет границу Финского залива, по этой зоне установлен подъем северного берега на 1,5 мм/год и опускание южного на 0,9 мм/год. По сейсмичности Санкт-Петербург попадает 4-х бальную зону.

#### **Физико-химические процессы в геоактивных зонах.**

ГАЗ – это, прежде всего, наиболее проницаемые структуры активной дегазации Земли, потоков глубинной энергии и веществ различной природы. Общие понятия о дегазации Земли сформулированы В.И. Вернадским, развивались А.П. Виноградовым, впоследствии были предложены целым рядом исследователей, которые получили качественные и количественные оценки продуктов дегазации [10, 11]. Коэффициент эманации в трещиноватых породах ГАЗ может составлять 95–98 %, тогда как в ненарушенных породах он равен 3–20 %.

В пределах ГАЗ сосредоточены различные виды геоэнергии: механическая, магнитная, электромагнитная, гравитационная, тепловая, радиационная, между которыми возможны взаимопереходы. Наиболее общей причиной возникновения геоэнергии принимается вращение Земли [12, 13]; выделение или поглощение энергии происходит в результате физико-химических превращений вещества в ГАЗ.

Одним из источников энергии из недр Земли считается термоядерный синтез, сопровождающийся переходом водорода в гелий с выделением тепловой и электромагнитной энергий. Для объяснения причин возникновения энергетических аномалий ГАЗ при-

влекаются спин-торсионная теория, теория солитонов [14].

Качество энергетического излучения может быть волновым или корпускулярным; диссипация его осуществляется дискретно во времени и пространстве; зависит от структуры ГАЗ, периодов их сжатия или разуплотнения в зависимости от скорости вращения Земли.

Поступление потока геоэнергии по ГАЗ на поверхность Земли фиксируется различными геофизическими приборами и методами (магнитометрия, гравиметрия, спектральное сейсмопрофилирование), способами био-локации, визуально наблюдаемыми явлениями.

Например, локальные выходы энергии фиксируются в виде так называемых плазмоидов, сходных по свойствам с шаровой молнией (в зависимости от частоты излучения плазмоиды могут быть видимыми и невидимыми), которые наблюдались над разломами в периоды их сейсмической активности. Плазмоид в виде многослойного радужного кольца  $d = 2-3$  м наблюдался в горах Крыма [15]. Выход энергии в виде факелов и светящихся облаков – во время Спитакского землетрясения.

Некоторые исследователи с истечением сгустков геоэнергии связывают явления полтергейста, лесные пожары и даже некоторые НЛО в виде светящихся дисков [5]. Локальные кратковременные выходы накопившейся энергии ГАЗ, возможно, приводят к гидравлическим ударам интенсивностью 5–6 баллов, с чем можно связать образование воронки диаметром до 30 м и глубиной 4,5 м в районе с. Сасово.

Результатом зарядки динамических напряжений с выделением механической энергии являются микро- (криповые) и макросдвиговые деформации.

Под влиянием аномальных энергетических полей, на фоне процессов дегазации в ГАЗ происходит целый ряд физико-химических процессов, которые, в свою очередь, могут идти с выделением или поглощением энергии.

Крутопадающие рудные залежи обладают повышенной электропроводимостью, представляя собой гальванический элемент, у которого катод расположен в верхней части, а анод – в нижней. Интенсивность поля вокруг рудных залежей может быть от первых десятков до сотен милливольт [16].

При определённом геологическом строении в районах рудных месторождений на поверхности Земли могут создаваться поля с напряжением от 0,01 до 80 В/м. Возможно, ростом локальной интенсивности электрополя в ГАЗ можно объяснить даже природный электролиз глинозёмсодержащих силикатных пород с образованием самородного алюминия.

В сильно обводнённых ГАЗ могут создаваться электрополя фильтрации и минерализованности вод



[17].

Величина таких полей от десятка до сотен В/м. ГАЗ являются зонами, по которым из глубинных геосфер в литосферу переносится флюидно-газовый поток. Общие положения петрологии, подтвержденные экспериментальными и аналитическими исследованиями [10, 11], показывают, что глубинная газовая фаза имеет восстановленный состав, что определяется преобладанием в ней  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ; в гораздо меньших количествах в продуктах дегазации присутствуют азот, гелий, радон, сероводород; установлены также летучие соединения металлов, цианиды, смесь бензапенов, алканов, алкенов.

Источником глубинных газов являются гидриды, цианиды и карбиды ядра Земли. В процессах минералообразования газы консервируются в газовой-жидких включениях (ГЖВ) пород. В работе [11] дан детальный анализ ГЖВ различных пород Украинского щита, определенный методом хроматографии. Показано, что в сумме газов в целом преобладает водород ( $H_2 > CO > CH_4$ ). Чем больше предполагаемая глубина формирования пород, тем меньше коэффициент их окисленности, определяемый отношением  $Fe_2O:Fe$  и отношения суммы восстановленных ( $H_2:CO:CH_4$ ) к сумме окисленных ( $H_2O:CO_2$ ) газов в ГЖВ. Например, содержание суммы восстановленных газов выше всего в таких глубинных образованиях как ультрабазиты (до  $0,9 \text{ см}^3/\text{г}$ ).

Для метасоматитов из зон разломов характерно возрастание в 1,5–2 раза (до  $1,545 \text{ см}^3/\text{г}$ ) суммы газов по сравнению с породами вне разломов и изменение их соотношений в сторону  $CO > H_2 > CH_4$  [11].

Полученные количественные аналитические данные по составу ГЖВ не отвечают составу мантийных газов, они представляют их реликты так как большая часть газов, мигрируя по ГАЗ в литосферу, окисляется с образованием вторичных газов  $H_2O$  и  $CO_2$  с выделением тепла. В породах ГАЗ, секущих осадочную толщину, установлены температуры, большие ( $>400^\circ\text{C}$ ), чем температуры катагенеза и литогенеза, свойственные породами «рамы».

Для глубоких уровней эрозионного среза ГАЗ, где обстановка наиболее восстановительная, установлено повышенное содержание самородных металлов, металлоорганических комплексов, сульфидов  $Cr$ ,  $Co$ ,  $Ni$ , редких земель; тория и редких элементов. В водах ГАЗ понижено содержание  $Ca$ , йода, селена; повышено –  $Hg$ ,  $As$ ,  $Sr$ ,  $P$ ,  $H_2O$  и  $CO_2$ , образовавшиеся при окислении глубинных восстановленных газов, в свою очередь, служат окислителем во многих реакциях перехода силикатов железа в магнетит, что ведет к изменению интенсивности магнитного поля ГАЗ.

Под влиянием магнитного поля происходит изменение свойств воды: повышается её плотность, по-

верхностное натяжение, вязкость, электропроводимость. Магнитное поле влияет на растворы солей, ускоряет процессы коагуляции и кинетику растворимости магнетита и кварца, выщелачивание оксидов железа [18].

Все эти процессы являются причиной существования в ГАЗ геохимических аномальных полей, в том числе радиационных, возникающих в результате радиоактивного распада радия с выделением радона 222 и 220.

Доля глубинного водорода может пополняться в результате неполного окисления метана, реакций метана с водой при  $T = 400\text{--}500^\circ\text{C}$ . В наиболее глубинных уровнях ГАЗ при  $T > 500^\circ\text{C}$  может происходить реакция диссоциации воды в присутствии катализаторов (платиноидов, мелкодисперсных сульфидов, окислов железа), которые понижают её температуру. Водород, проникая в структуру минералов, способствует её деформированию [1].

В ГАЗ отмечены общая ионизация воздуха и преобладание положительных ионов над отрицательными (менее  $600 \text{ ионов см}^3$ ), так как отрицательные ионы кислорода нейтрализуются положительными ионами водорода. Имеют значение степень обводнённости ГАЗ, характер этой обводнённости (стоячий, подвижный) и структура самой воды. Сейсмические сотрясения в кристаллических породах меньше, чем в обводнённых осадочных.

В формировании геоэнергетических особенностей ГАЗ огромное значение имеют механические сдвиговые явления, обусловленные, прежде всего, различными циклами вращения Земли и деформацией её оболочек. Масштабы этих явлений очень различны – от крупных подвижек мегаблоков, первого, второго и тому подобных порядков, вплоть до криповых явлений в центральных швах разломов.

В результате механического истирания происходит разрушение структуры минералов, вскрытие ГЖВ и выделение реликтов газовых включений (из  $1000 \text{ м}^3$  может выделиться около  $50 \text{ м}^3$  газов). Деформации в ГАЗ ведут к разрыву химических связей силикатов, ионизации атомов вплоть до образования твердотельной высокоэнергетической электронно-дырочной плазмы, при релаксации которой в минералах возникают возбужденные электронные состояния высоких энергий (до  $10 \text{ эВ}$ ) с выделением положительных и отрицательных [13].

Процессы механического истирания могут приводить в ГАЗ к образованию наночастиц с большой удельной поверхностью и флюидных наносистем, в которых изменяются свойства воды и металлов [19]. При механическом истирании и диспергировании могут меняться кристаллические свойства минералов, в частности, происходит переход кубической структуры

в триклинную, а это приводит к изменению пьезоэлектрических свойств и появлению таких пьезоэлектриков, как кварц, каолинит, хлорит, нефелин, вермикулит, ломонтит, серпентин, то есть минералов, характерных именно для метасоматитов зон разломов. У этих пьезоэлектриков число пьезозависимых модулей в 10–12 раз больше, чем у рудных минералов [1].

Кварциты, хлоритизированные, биотитизированные и серпентинизированные породы зон разломов – это гигантские пьезодатчики, то есть электроактивные толщи, которые могут даже оказывать влияние на магнитное поле Земли.

Велика роль механических разрушений в росте физико-химической активности и растворимости пород, изменении валентности окислов, восстановлении оксидов до самородных металлов.

Механические нагрузки (сдвиг при ориентированном сжатии, растяжении, кручении) приводят к увеличению количества дефектов кристаллической решетки. Химическая активность может возрастать более чем на два порядка; существует линейная зависимость между удельной скоростью реакции и плотностью дислокаций [20].

Высказаны даже предположения о том, что из глубинных восстановленных флюидов в экстремальных высокоэнергетических условиях древнейших ГАЗ возможно было образование минерально-органических агрегатов (биоподобных структур), давших начало живой материи.

К этому представлению близка мысль о том, что «...кварц структурирует воду, таким образом, что возникают свойства, делающие возможным зарождение и образование жизни на уровне молекулярных структур» [13]. Большое количество водорослей в Саргассовом море, возможно, также связано с обильным поступлением глубинных флюидов.

Таким образом, рассмотренное выше показывает, что ГАЗ являются аномальными долгоживущими геологическими неоднородностями, в пределах которых формируются различные виды геоэнергии. Эта энергия оказывает влияние на биоэнергию живой материи и продукты техногенеза.

### **Влияние геоактивных зон на техногенные объекты.**

Проблемы влияния ГАЗ на техногенные объекты освещены в многочисленных научных статьях и популярных изданиях. В связи с разрушительными последствиями этого влияния ГАЗ можно назвать геодеструктивными. Влияние ГАЗ на различные сооружения обусловлено механической сотрясаемостью разной интенсивности, изменением инженерно-геологических свойств пород в связи с повышенной трещиноватостью, разуплотненностью, обводненностью, а также

физико-химическими процессами, которые приводят к образованию агрессивных сред. Влияние может проявляться длительное время, либо происходить быстро с локальным выбросом энергии, следствием чего может быть обрушение зданий, повреждение дорог, трубопроводов, тоннелей и пр. В качестве примеров можно привести данные о разрушении здания школы в г. Высоцке Ленинградской области в 1977 г.; Дворца спорта в Ставрополе в 1999 г.; дома в Каире в 2000 г.; Дворца торжеств в Иерусалиме в 2000 г.

Причиной разрушений во всех случаях является резонанс между геополями ГАЗ и энергополями, создаваемыми сооружениями, и зависящими от их архитектурных форм.

ГАЗ влияют на формирование рельефа, а это, в свою очередь, на устойчивость сооружений. Энергетическими выбросами ГАЗ некоторые исследователи объясняют целый ряд авиакатастроф, причина которых, возможно, обусловлена сбоем в работе приборов, неправильно показывающих высоту из-за ионосферных аномалий гравитационного поля [21]. Допускается, что причиной возгорания самолётов могут быть мощные потоки газовых факелов над ГАЗ. Зафиксированы 10 аварий поездов в районе г. Бологое в узле пересечения дороги Москва – Санкт-Петербург с ГАЗ [1]. С влиянием ГАЗ связывают 7 крупных аварий на газопроводах в течение трёх лет. Предполагают, что одной из причин гибели кораблей в районе т.н. Бермудского треугольника могло быть разуплотнение воды в пределах мощных газовых потоков из разломов, что приводило к потере плавучести, либо могли возникать колебания инфразвуковых частот (около 6 Гц), которые сказывались на физическом и психическом состоянии людей, управляющих сложной техникой.

Высказаны допущения о том, что причиной аварии четвёртого блока ЧАЭС была сейсмическая активность, зафиксированная на ряде сейсмостанций (Норинск, Поддубы, Глушковичи), которой предшествовало свечение над реактором. Влияние процессов ГАЗ на Чернобыльскую аварию, возможно, было обусловлено резким изменением состояния обслуживающего персонала станции.

Допускается разрушение металлических конструкций в связи с усиленной коррозией под влиянием электромагнитных излучений, теллурических токов, изменением pH и Eh среды в пределах обводнённых пород в разломах. К сожалению, нет критериев определения степени влияния геологических и техногенных факторов на различные сооружения.

Для объяснения причин разрушения озонового слоя над Исландией, Гавайскими островами, Красным морем, то есть там, где отсутствуют проявления техногенеза, привлекается влияние потоков восстанов-

ленных газов, дренируемых ГАЗ.

### **Влияние геоактивных зон на живую материю**

Многочисленными исследователями установлено, что ГАЗ – это аномальные участки земной поверхности, в пределах которых меняются физиологические и психологические параметры состояния живых организмов, при этом нередко в сторону ухудшения [1, 4, 5, 12, 22]. Такие изменения – результат взаимодействия геоэнергополей с физиологическими и информационными биоэнергиями, которые могут иметь сходные качественные характеристики, отличные по интенсивности либо по знаку. Длины волн в геопоях меньше длин волн биополей. Природные электромагнитные поля слабые (на равнинах 200–500 нТл; в горах до 10000 нТл). Электрохимические поля вокруг рудных объектов имеют напряженность  $10^{-2} - 10^{-1}$  В/м; теллурическое поле имеет частоту  $10^{-6} - 10^{-5}$  В/м.

В термофильтрационном поле в аномальных участках может излучаться энергия с частотой 2450 МГц [17].

Взаимодействие гео- и биополей может быть резонансным (разрушительным) или аннигилирующим.

Геоэнергополя разной интенсивности в ГАЗ распределены неравномерно; также неравномерно расположены в них участки и зоны, в которых состояние живых организмов ухудшается, вплоть до комплекса болезней, которые получили название геопатии, а такие зоны – геопатогенных (ГПЗ). Патогенные зоны могут возникать также под влиянием техногенных сооружений и процессов; пространственно-временное совпадение гео- и техногенных зон приводит к усилению болезнетворного влияния. Участки комфортного состояния живых организмов названы геосалюберогенными.

В пределах региональных и трансрегиональных ГАЗ геопатогенные зоны представлены локальными участками овальной формы, обычно субогласными с простиранием ГАЗ. Нередко такие геопатогенные участки контролируются пересечением разнонаправленных разломов, пересечением разломов с погребёнными руслами, водоносными горизонтами и подземными техногенными сооружениями (тоннелями, путепроводами).

Общий поток энергии биополя человека в спокойном состоянии составляет 1,38 В/м; при стрессовых состояниях этот поток увеличивается в тысячи раз. Биополе человека рассматривают в качестве комплексного, характеризующегося информационно-энергетическими свойствами и сопоставляют с торсионным [23, 24].

Структура биополя состоит из нескольких оболочек: эктоплазмы, астроплазмы и ментаплазмы. Составляющими биополя рассматривают бюоны, микро-

липтоны, газ из психонов, потоки реликтовых нейтрино, солитоны [5].

Масса микролиптона [25] оценивается в  $10^{-39} - 10^{-40}$  г. Биоэнергия замеряется биолокационным методом, её интенсивность фиксируется по методу Фоля в акупунктурных точках. Биоэнергия – это энергия сверхслабого взаимодействия корпускулярно-волнового характера.

На состояние человека, ослабление его иммунитета влияет снижение общей ионизации воздуха и преобладание положительных ионов над отрицательными, что наблюдается в ГАЗ в связи с миграцией отрицательных ионов к ядру Земли [13].

Геоэлектромагнитное поле определённой напряженности влияет на изменение физико-химических свойств макромолекул, ферментативную активность, генетические функции клеток, регуляцию сердечно-сосудистой деятельности, поэтому резонирование геопоя и биополя отрицательно сказывается на здоровье человека.

Влияние геомагнитного поля на человека может быть как положительным, так и отрицательным, что зависит от времени и дозы.

Влияние геомагнитного поля на живые организмы объясняется существованием в них циркоритмов, (день-ночь, фазы луны, времена года). Живые организмы – это, по сути, биомагнит с диполями молекулярного уровня [9]. Электромагнитное поле человека имеет амплитуду  $10^{-7} - 10^{-3}$  нТл в диапазоне 0,1 кГц.

Человек ощущает дискомфорт как в очень сильных ( $> 4$  тыс. нТл), так и в слабых магнитных полях, приспосабливается к своему региональному магнитному полю. Экологическая норма геомагнитного поля Земли 15000–25000 нТл, при горизонтальном градиенте  $6 \div 25$  нТл/км.

Отрицательно влияют на человека газовые аномалии радона–222 и фосфина ( $\text{PH}_3$ ). 10–20 % людей высокочувствительны и 7–10 % – сверхчувствительны по отношению к действию радиации. Разноактивные изотопы также могут влиять на здоровье людей ( $^{85}\text{Kr}$ ). Большое значение для состояния человека имеет структурная упорядоченность молекул воды, которая может меняться под влиянием ГАЗ (ГПЗ, их участков) и может быть причиной психического дискомфорта [5].

Исследователями [26] проведена корреляция геопатогенных участков с ГАЗ и геоморфологическими факторами на площади Житомирского и Переяслав-Хмельницкого листов геологической съёмки масштаба 1: 200 000. Показано, что геопатогенные овальные участки приурочены к северо-западной ГАЗ, заложившейся на границе Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины и трассирующей по положительному аномальному магнитному полю. В пре-

делах гепатогенных участков, некоторые из которых совпадают с аномалиями магнитного и радиационного полей, установлена повышенная заболеваемость людей раком, ишемией, неврастением, склерозом [26]. Геопатогенная овальная зона, в которой установлен рост числа заболевших раком и склерозом, приурочена к погребённому руслу.

Безвредное влияние ГПЗ может усиливаться в зависимости от рассеивающих или концентрирующих особенностей рельефа местности, параметров и морфологии различных разломов и разных подземных сооружений. Существует обширная статистика заболеваний людей, различное время находившихся в пределах ГАЗ. Так, наблюдение над 1000 человек, находившихся в ГАЗ в течение 15 минут, показало незначительное изменение 12 и 24 наблюдавшихся параметров их физического состояния [22].

Анализ влияния ГПЗ на человека изучался врачами, архитекторами, физиками в Англии, Германии, Швейцарии, Чехии на протяжении 1932–1990 годов. К. Бахлер [27] обследовала 11 тысяч пациентов разных стран, находившихся длительное время в ГПЗ, и установила, что лишь 5 % из них остались здоровыми. При пребывании людей в ГПЗ в течении 5–15 лет 19 % получили тяжелые заболевания; 23 % – легкие; 8 % – умерли. В Штутгарте установлено, что смерть от рака возрастает в местах пересечения нескольких разломов; в Чехии – в домах, построенных на погребённых руслах. В Саратове также установлены признаки ухудшения здоровья 100 людей при пребывании их в ГПЗ [28]. Установлена корреляция продолжительности жизни и смертности жителей Екатеринбурга, проживавших над ГПЗ [29].

Исследование состояния людей в ГПЗ Киева позволило установить следующее:

- в Гидропарке у 50–70 % 14-ти испытуемых установлено отклонение от нормы кровяного давления;
- в доме, построенном на ГПЗ, за 1979–1993 годы, умерло 52 человека (16 – инсульт, 12 – рак, 10 – сердечно-сосудистые заболевания, 11 – инфаркт, 4 – самоубийства);
- в районе Троещины в пределах ГПЗ Бортнического разлома установлен рост заболеваний: эндокринологических в 4–6 раз, онкологических в 2,5–4,5 раз; сердечно-сосудистых в 1,1–1,5 раза, гипертонических в 1,5–2,4 раза [28].

В Санкт-Петербурге также установлена прямая связь онкозаболеваний, ишемии, гипертонии, неврозов, детских болезней и смертности с ГПЗ (число больных раком в пределах ГПЗ – 22, 12 %, вне зоны – 9,3 %). такая статистика заболеваний в ГПЗ (без разделения на гео- и технопатогенные зоны) получена для Санкт-Петербурга, Карелии, Ленинградской области (в количестве раз по сравнению с «фоном»): ише-

мия – 3; гипертония – 1,5; смертность – 2,5; онкология – 1,7; детские болезни – 2,0; уменьшение веса детей [4, 31]. Получены данные об ухудшении состояния здоровья жителей Смольнинского и Калининского районов Санкт-Петербурга, городов Выборг и Гатчина в связи с ГПЗ. Вдоль Гражданского проспекта в Санкт-Петербурге, где проходит ГАЗ, установлено снижение количества отрицательных ионов на всех этажах зданий по сравнению с содержанием их вне ГАЗ [21]. Установлена прямая зависимость содержания гелия в питьевой воде (что коррелируется с активизацией разлома) с увеличением в 5–6 раз вызовов скорой помощи.

Наиболее подвержены воздействию ГПЗ высшие млекопитающие и человек, менее всего – насекомые. Патогенное воздействие ряда излучений ГАЗ влияет не только на здоровье, но также на психическое состояние человека. Это может оказаться причиной аварий, которые происходят на техногенных объектах, катастроф самолётов, поездов, пароходов в связи с неадекватными действиями управляющего ими персонала.

С длительным возбуждающим патогенным воздействием трансрегионального геоактивного Альпийско-Гималайского пояса длиной 10 тыс. км, шириной 100–300 км можно связывать межэтнические конфликты в Косово, Боснии, Карабахе, Чечне, Абхазии, Южной Осетии, Афганистане, Таджикистане, Кашмире, Камбодже, Вьетнаме [31].

Отмечено влияние ГПЗ на мутацию растений (дихотомия, наросты), избирательный рост или, наоборот, увядание некоторых видов растений; их урожайность [22].

В ГАЗ установлено существование салюберогенных участков комфортного состояния людей, но признаки таких участков слабо изучены и в данной работе не рассматриваются.

### **Выводы и направления дальнейших исследований.**

В результате проведенного обзора, очевидно, что ГАЗ должны рассматриваться как зоны экологического риска, что особенно актуально для урбанизированных территорий, и Киева, в частности. В настоящее время недостаточно изучены вопросы, касающиеся геологического строения ГАЗ, их эрозийного среза, времени и глубины заложения, физико-химических процессов, характерных для этапов активизации разломов. Очень слабо исследованы морфология и закономерность размещения патогенных и салюберогенных участков в пределах ГАЗ, признаки геохимических отличий между ними. Для решения этих вопросов необходимы комплексные исследования геологов, геофизиков, физхимиков и медиков [6].

Наиболее актуальными вопросами при изучении участков экологического риска ГАЗ г. Киева представляются следующие:

– уточнение карт трассирования ГАЗ различного масштаба;

– детализация морфологических особенностей и внутреннего строения ГАЗ (глубины заложения, ширины, плоскости наклона и пр.) и уровня их эрозийного среза;

– районирование Киева по распространённости ГАЗ и тектонической напряжённости различных блоков докембрийского фундамента;

– оценка физико-химических процессов (в том числе газовых эманаций), свойственных разломам разных направлений и разных этапов активизации;

– определение геохимических особенностей и отличий (по качественному составу элементов и различным их соотношениям) геопатогенных, геосалюберогенных и технопатогенных зон для их более детальной классификации;

– детальное изучение узлов пересечения ГАЗ с крупными подземными техногенными объектами, погребёнными руслами, водоносными горизонтами и пр.

– определение закономерностей размещения патогенных и салюберогенных зон в пределах конкретных ГАЗ;

– выработка рекомендаций по методологии комплексного эколого-геологического картирования урбанизированных территорий и выявлению зон экологического риска;

– рекомендации по целесообразному и безопасному размещению объектов общественного назначения (хранилищ опасных отходов, подземных сооружений, высотных зданий), также установлению арендной стоимости земли и жилья в зависимости от расположения участков экологического риска ГАЗ;

– рекомендации по организации медобслуживания и экологического страхования с учётом патогенного воздействия ГАЗ на здоровье людей в зонах экологического риска.

#### Литература

1. Рудник В.А. Геологический фактор как основа инфраструктуры урбанизированных территорий. Инженерная география. Экология урбанизированных территорий. Доклады 4-й Международной конференции. – 1999. – С. 92-97.
2. Верховцев В.Г., Юськів Ю.В., Швайко В.Г. Активні на новітньому етапі розвитку лінійні геоструктури Українського щита та його схилів. Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. 2012. Вип. 4. – С. 49-59.
3. Верховцев В.Г., Юськів Ю.В., Швайко В.Г. Активні на новітньому етапі розвитку кільцеві геоструктури Українського щита та його схилів. Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2013. – Вип. 5. – С. 103-118.

4. Рудник В.А., Мельников Е.К. Геоактивные зоны и их влияние на здоровье человека. Разведка и охрана недр. – 1998. № 6-7. С. 54-57.

5. Малиновський Г.Т., Мовчун Н.В. Випромінювання Землі, психічна енергія і здоров'я людини. Монографія. – Київ: «Логос», 2002. – 303 с.

6. Старостенко В.И., Баран П.И., Барцевский Н.Е. и др. Киев: геология и геофизика окружающей среды и факторы на неё влияющие. Геофизический журнал. – 2001. – т. 2, № 4. – С. 3-38.

7. Галецкий Л.С., Иванчиков В.П. Картографирование аномальных геологических структур и народнохозяйственное использование их на территории Украины. Глубинное строение литосферы и нетрадиционное использование недр Земли: Тезисы докладов совещания. – Киев, 1996. – С. 245-246.

8. Демчишин М.Г. Геологическая среда Киева. Геологический журнал. – 1991. – № 2 – С. 14-24.

9. Орлюк М., Романец А. Геомагнитное поле Украины: экологический аспект. Геолог Украины. – 2003. – № 1 – С. 64-69.

10. Летников Ф.А., Карпов И.К., Киселёв А.И. и др. Флюидный режим земной коры и верхней мантии. Монография. – Москва: Наука, 1977. – 216 с.

11. Семененко Н.П., Великанов Ю.Ф., Джелнач Н.И. и др. Восстановительная газовая составляющая подземной атмосферы (на примере центральной части Украинского щита). Препринт ИГФМ. – Киев, 1985. – 61 с.

12. Дроздовская А.А., Омельченко В.Д., Паньковский Ю.С., Савченко А.М. и др. Влияние геоэнергетических аномалий на экологию Киева. Геологический журнал. – 1991. – № 2 – С. 84-96.

13. Слензак О.И. Геоэнергетическое обеспечение геосферы. Геолог Украины. – 2003. – № 2. – С. 30-34.

14. Давыдов А.С. Солитоны в молекулярных системах. Киев: Наукова думка. 1988.

15. Мачуліна С. Феномен гори Ай-Петрі (до віртуальної геології Криму). Геолог України. – 2003. – № 2. – С. 72-75.

16. Якубовский Ю.В. Ляхов Л.А. Электроразведка. Москва: Недр. – 1984. – 381 с.

17. Электромагнитные поля в биосфере. Москва: Наука. – 1984. – т. 1, 2. – 375 с.

18. Епатко Ю.М., Кравченко В.М. Проблема железорудных формаций докембрия в творческом наследии академика Я.Н. Белевцева. – Минералогический журнал. – 1997. – т. 18, № 5. – С. 59-67.

19. Лиштван И.В. Наноструктуры в природных дисперсных системах. Коллоидные наноразмерные системы: Сборник научных трудов совещания (октябрь, 2003). – Киев, 2003.

20. Соболев В.В., Билан В.В. К вопросу о механизме формирования металлического золота в гидротермальных системах. Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2003. – № 2. – С. 21-23.

21. Рудник В.А. Геопатогенные зоны (ГПЗ) – не миф, а реальность. Мир медицины. – СПб. – 1997. – № 8. – С. 12-13.

22. Павловец И.Н. Биоэнергия и патогенные зоны в жизни человека. Монография. – Киев: Соборна Україна, 1994. – 128 с.

23. Вейник А.А. Термодинамика реальных процессов. Минск, 1991. – 576 с.
24. Шипов Г.И. Теория физического вакуума. Москва: НТ Центр, 1993. – 362 с.
25. Исаков Б.И. Квантово-статистическая биоэнергoinформатика Метанно-электромагнитная гипотеза. Проблемы статистики и экономического моделирования: МИНХ им. Плеханова. – Москва, 1988. – С. 134-158.
26. Павловец И.Н. Влияние геопатогенных зон на экологические параметры геологической среды и здоровье человека. Киев: Геоинформ, 1997. – 243 с.
27. Бахлер К. Открытия лозоходца. Австрия: Изд-во «Вермитас», Линц, 1981. – 224 с.
28. Касьянов В.В. Новое о геопатогенных зонах. Доклад семинара «Проблемы геопатогенных зон». – Москва, 1990. – С. 43-47.
29. Рыцк А., Семенова С. Биолокационные аномалии и наше здоровье. Журнал «Аномалия», 1995. № 3. С. 9-11.
30. Крыжановский В.В. Влияние геопатогенных зон на комфорт жилой среды (на примере микрорайона Троещина в г. Киеве). В книге: «Глубинное строение литосферы и нетрадиционное использование недр Земли». – Киев, 1996. – С. 251-252.
31. Мельников Е.К., Мусийчук Ю.Л., Потифоров и др. Геопатогенные зоны – миф или реальность? Санкт-Петербург, 1993. – 48 с.

#### References

1. Rudnik, V.A., (1999), *Engineering geography. Ecology of urban areas. Papers of the 4th International Conference*. pp. 92-97.
2. Verkhovtsev V.G., Yuskiev Yu.V. and Shvayko V.G. (2012), *Technological and environmental safety and civil Protection*. Вуп. 4. pp. 49-59.
3. Verkhovtsev V.G., Yuskiev Yu.V., Shvaiko V.G. (2013), *Technological and environmental safety and civil Protection*. Вуп. 5. pp. 103-118.
4. Rudnik V.A., Melnikov E.K. (1998), *Exploration and protection of mineral resources*. No. 6-7. pp. 54-57.
5. Malinovsky G.T., Molchun N.V. (2002), *Monograph*. "Logos", Kiev, UA. 303 p.
6. Starostenko V.I., Baran P.I., Barshchevsky N.E. and others (2001), *Geophysical Journal*. Vol. 2, No. 4. pp. 3-38.
7. Galetsky L.S., Ivanchikov V.P. (1996), *Deep structure of the lithosphere and unconventional use of the Earth's interior: Abstracts of the meeting*. Kiev, pp. 245-246.
8. Demchishin M.G. (1991), *Geological journal*. No. 2. pp. 14-24.
9. Orlyuk M., Romanets A. (2003), *Geologist of Ukraine*. No. 1. pp. 64-69.
10. Letnikov F.A., Karpov I.K., Kiselev A.I. et al. (1977), *Monograph*. Nauka, Moscow, Russia. 216 p.
11. Semenenko N.P., Velikanov Yu.F., Dzhelnach N.I. and others (1985), *Preprint IGFМ*. Kiev, UA. 61 p.
12. Drozdovskaya A.A., Omelchenko V.D., Pankovsky Yu.S., Savchenko A.M. et al (1991), *Geological journal*. No. 2. pp. 84-96.
13. Slenzak O.I. (2003), *Geologist of Ukraine*. No. 2. pp. 30-34.
14. Davydov A.S. (1988), *Solitons in molecular systems*. Naukova Dumka, Kiev, UA.
15. Machulina S. (2003), *Geologist of Ukraine*. No. 2. pp. 72-75.
16. Yakubovsky Yu.V. Lyakhov L.A. (1984), *Electrical Intelligence Nedra*, Moscow, Russia. 381 p.
17. *Electromagnetic fields in the biosphere* (1984), Science, Moscow, Russia. Т. 1, 2. 375 p.
18. Yepatko Yu.M., Kravchenko V.M. (1997), *Mineralogical journal*. Т. 18, No. 5. pp. 59-67.
19. Lishtvan I.V. (2003), *Colloidal nanoscale systems: Collection of scientific papers of the meeting (October, 2003)*. Kiev, UA.
20. Sobolev V.V., Bilan V.V. (2003), *Naukoviy Visnik National National University*. Dnipropetrovsk. No. 2. pp. 21-23.
21. Rudnik V.A. (1997), *World of Medicine*. SPB. No. 8. pp. 12-13.
22. Pavlovets I.N. (1994), *Monograph*. Cathedral Ukraine, Kiev, UA. 128 p.
23. Veinik A.A. (1991), *Thermodynamics of real processes*. Minsk, Belarus. 576 p.
24. Shipov G.I. (1993), *The theory of physical vacuum*. NT Center, Moscow, Russia. 362 p.
25. Isakov B.I. (1988), *Moscow Institute of Economics. Plekhanov*. Moscow. pp. 134-158.
26. Pavlovets I.N. (1997), *Geoinform*, Kiev. 243 p.
27. Bahler K. (1981), *Discoveries of the dowser*. Vermitas Publishing House, Linz, Austria.. 224 p.
28. Kasyanov V.V. (1990), *Report of the seminar "Problems of geopathogenic zones"*. Moscow, RU, pp. 43-47.
29. Ryt'sk A., Semenova S. (1995), *Journal "Anomaly"*. No. 3. pp 9-11.
30. Kryzhanovsky V.V. (1996), *In the book: "The Deep Structure of the Lithosphere and the Unconventional Use of the Earth's bowels"*. Kiev, UA. pp. 251-252.
31. Melnikov E.K., Musiychuk Yu.L. (1993) *Geopathogenic zones - myth or reality*. St. Peter., RU. 48 p.

#### ГЕОАКТИВНІ ЗОНИ – ФАКТОР ВПЛИВУ НА ЕКОЛОГІЮ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

**Ярошук М.О.** д.г.-м.н., пров.н.с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», marina\_yaroshchuk@meta.ua, orcid.org/0000-0002-8380-6362

**Вайло О.В.** к.геол.-мін.н., ст.н.с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», alexv54@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9540-2448

**Ганевич А.Є.** н.с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», 19ganevich@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8594-7532

**Ноженко О.В.** м.н.с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», noolvo@ukr.net

*В результаті урбанізації створюється нове екологічне середовище з високою концентрацією антропогенних і техногенних факторів, які впливають на городян в умовах великих міст і мегаполісів. При цьому на людину, як і на біоту в цілому, додатково негативно впливають*

ще й глобальні космічні та геологічні чинники. У даній статті, на основі аналізу великого матеріалу, розглянуто геологічні чинники, до яких відносяться неоднорідності земної кори у вигляді великих протяжних зон розривних тектонічних порушень і напруг, активних розломів, що відносяться до геоактивних зон, і - більш локальних ділянок в межах останніх з проявом різних аномальних фізичних полів, які визначаються як геопатогенні зони. Існування геоактивних зон і всередині них аномальних полів, які впливають на середовище проживання людини, роблять актуальним вивчення таких зон в межах великих міст і урбанізованих територій. У статті наведено геологічні та структурні характеристики і внутрішню морфологію геоактивних розломних зон. Показано, що породи, які беруть участь в їх будові, і фізико-хімічні процеси, що протікають в них, мають аномальні властивості, які непостійні і залежать від часу, глибини закладення зон, рівня їх еродованості і, особливо, неотектонічної активності. Охарактеризовано геоактивні зони (активізовані глибинні розломи) на території Києва та Київської області (Київський геодинамічний полігон). Розглянуто різні види енергії, зосереджені в геоактивних зонах (механічна, магнітна, електромагнітна, гравітаційна, теплова, радіаційна) і їх сумарний вплив на фізико-хімічні процеси. Надано оцінку можливого сумарного впливу цих процесів на формування рельєфу, тип рослинності, стійкість техногенних об'єктів, а також на живу матерію (зокрема, здоров'я і психічний стан людини). Визначено напрямки подальших досліджень.

**Ключові слова:** геоактивна зона, геопатогенна зона, неоднорідність геологічного середовища, фізичне поле, геоаномальне поле, біополе, геоенергетичні особливості, патогенний вплив, неотектонічні рухи, геолого-геофізичні методи, біолокація.

## GEOACTIVE ZONES – A FACTOR OF INFLUENCE ON THE ECOLOGY OF URBANIZED TERRITORIES

**Yaroshchuk M.** Dr. Sc. (Geol.- Min), leading researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», marina\_yaroshchuk@meta.ua, orcid.org/0000-0002-8380-6362

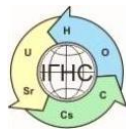
**Vaylo A.** PhD (Geol.-min.), Senior Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», alexv54@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9540-2448

**Ganevich A.**, Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», 19ganevich@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8594-7532

**Nozhenko O.**, Jun. Res., State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», noolvo@ukr.net

*As a result of urbanization, a new ecological environment has been created with a high concentration of anthropogenic and technogenic factors that affect citizens in large cities and megalopolises. At the same time, a human, as well as biota on the whole, is additionally negatively affected by global cosmic and geological factors. Based on the analysis of extensive material, the article considers geological factors which include inhomogeneities of the earth's crust in the form of large extended zones of discontinuous tectonic disturbances and stresses, active faults related to geoactive zones, and more local areas within the latter with manifestation of various abnormal physical fields, defined as geopathic zones. The existence of geoactive zones and anomalous fields within them that affect the human environment make it relevant to study such zones within large cities and urban areas. The article presents the geological and structural characteristics and internal morphology of geoactive fault zones. It is shown that the rocks comprising them and the physicochemical processes occurring in them have anomalous properties that are variable and depend on time, the depth of the zones, the level of erosion and, especially, the neotectonic activity. Geoactive zones (activated deep faults) at the territory of the city of Kyiv and Kyiv region (Kyiv geodynamic test site) have been characterized. Various types of energy concentrated in geoactive zones (mechanical, magnetic, electromagnetic, gravitational, thermal, radiation) and their total effect on physicochemical processes have been considered. A possible combined effect of these processes on formation of the relief, the type of vegetation, sustainability of technogenic objects, as well as the living matter (in particular, human health and mental state) have been assessed. The direction of further research is determined.*

**Key words:** geoactive zone, geopathic zone, heterogeneity of the geological environment, physical field, geon anomalous field, biofield, geoenergetic features, pathogenic effects, neotectonic movements, geological and geophysical methods, biolocation.



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.072>  
УДК 551:242:553.495

**Семенюк М.П., Верховцев В.Г., Вайло О.В., Ганевич А.Є.,  
Мельниченко Б.Ф., Кулібаба В.М.**

**Семенюк М.П.** к. геол.-мін. н., пров. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», [semenuk205@gmail.com](mailto:semenuk205@gmail.com)

**Верховцев В.Г.** докт. геол. н., зав. від. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», [Verkhovtsev@ukr.net](mailto:Verkhovtsev@ukr.net), [orcid.org/0000-0002-1015-6725](https://orcid.org/0000-0002-1015-6725)

**Вайло О.В.** к. геол.-мін. н., ст. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», [alexv54@ukr.net](mailto:alexv54@ukr.net)

**Ганевич А.Є.** н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», [ganevich19@gmail.com](mailto:ganevich19@gmail.com), [orcid.org/0000-0001-8594-7532](https://orcid.org/0000-0001-8594-7532)

**Кулібаба В.М.** м. н. с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», [kulibaba3398@ukr.net](mailto:kulibaba3398@ukr.net)

**ІНТЕГРАЛЬНО-ДІФЕРЕНЦІЙОВАНА ПАЛЕОГЕОДИНАМІКА НОВОУКРАЇНСЬКОГО ГРАНІТОГНЕЙСОВОГО КУПОЛА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА**

У статті розглядаються результати комплексних досліджень інтегральної й диференційованої геодинаміки ранньопротерозойського Новоукраїнського гранітогнейсового купола, який не має свого петрологічного, параметричного та спеціалізованого аналога на Українському щиті. Особливістю цієї геоструктури є масштабне утворення в його межах реоморфічних (по більш давнім гранітоїдам) крупнопорфірблястових гранітів (новоукраїнських), а також гранітизація гнейсової формації, представленої тут чечеліївською світою інгуло-інгулецької серії та кам'яно-костуватською світою бузької серії. Утворення внаслідок гранітизаційних процесів потужного гравітаційного мінімуму спричинило інтенсивне здійснення гранітизованих порід із втягування у підняття суміжних негранітизованих породних комплексів. На основі співставлення реперних дат завершення кристалізаційних процесів новоукраїнських гранітів і формування урановородних промислових концентрацій, в апогранітних та апогнейсових альбітитах визначені як рівні дорудного, так і пострудного денудаційного зрізу Новоукраїнського купола. Прослідковано міграцію апікальної частини купола, пов'язаної з тектоно-магматичною активізацією герцинської епохи. Досліджено тектонічну активізацію Новоукраїнського гранітогнейсового купола у кайнозой та визначено глибини денудаційного зрізу його складових структур й надано оцінку збереженості родовищ натрій-уранової формації від пострудної денудації. Встановлено етапи геодинаміки купола, які координуються з процесами становлення і еволюції Українського щита, пов'язаної з розколом Сарматського щита Східно-Європейської платформи, формуванням суміжних геоструктур і транспортуванням убогих концентрацій урану в осадових вулканогенних відкладах добайкальської епохи, які протягом байкальського і герцинського часу утворили фундамент Скіфської платформи. Відсутність промислових родовищ (із понад 200-метровим розмахом уранового зруденіння) у південній частині Новоукраїнського гранітогнейсового купола зумовлена диференційованою геодинамікою цієї структури на пострудному етапі її еволюції.

**Ключові слова:** гранітоїди, гнейси, купол, масив, плутон, геодинаміка, уранове зруденіння, процес, етап, палеодолина, висхідні рухи, абсолютний вік, натрій-уранова формація.

**Вступ**

Палеогеодинаміка Новоукраїнського гранітогнейсового купола – найкрупнішої геоструктури такого петрологічного складу, параметрів та віку у тілі Інгульського мегаблоку Українського щита тривалий час перебувала поза увагою дослідників геологічної історії цього регіону. Актуальність таких досліджень зумовлена металогенічною спеціалізацією західної частини Інгульського мегаблоку, домінуючу структурну позицію у якій займає саме цей купол. Безпосередньо у межах купола та у багатьох його екоконтактних зонах (північно-західній, східній та північно-східній) розташовані крупні родовища та рудопрояви натрій-уранової формації, у яких зосереджено понад 90 %

промислових запасів урану України.

В залежності від пострудної палеогеодинаміки Новоукраїнського купола вертикальний розмах уранового зруденіння варіює у широких межах – від перших сотень метрів до кілометра і більше, що у більшості випадків зумовлено різними рівнями денудаційного зрізу. Варто відзначити також, що за такої високої насиченості купола ендегенними родовищами та рудопроявами натрій-уранової формації, промислових екзогенних (гідрогенних) родовищ в осадовому чохлі цієї частини Інгульського мегаблоку досі не виявлено. Відповідь на парадоксальність такої ситуації можна знайти дослідивши палеогеодинаміку купола.



## Мета і завдання досліджень

Як впливає із зазначених вище обставин, метою досліджень палеогеодинаміки Новоукраїнського гранітогнейсового купола є встановлення інтегрально-диференційованих вертикальних рухів як безпосередньо ядерної частини купола, так і суміжних структурно-формаційних комплексів. Поряд із вирішенням цього вельми важливого питання для коректного прогнозування рівня збереженості родовищ та рудопоявів натрій-уранової формації від пострудних денудаційних процесів в межах Новоукраїнського купола, назрілим є встановлення природи формування та еволюції купольної структури, наслідком якої є субавтомна його геологічна історія.

Для реалізації цієї мети використано широкий спектр матеріалів: геофізичних, структурно-геологічних, палеогеоморфологічних, структурно-петрологічних, результатів структурної інтерпретації матеріалів космічних знімків земної поверхні.

У багатьох попередніх дослідженнях Новоукраїнський гранітогнейсовий купол фігурував у якості одноіменного антиклінорного масиву, ядерну частину якого склали новоукраїнські граніти. Г.І. Каляєв [1], послідовно дослідивши купольну інфраструктуру східної частини Інгульського мегаблоку та у зв'язку із широким обсягом виконаних детальних геолого-геофізичних робіт у західній частині мегаблоку після відкриття Мічуринського уранового родовища натрій-уранової формації, проаналізувавши матеріали гравіметричних зйомок і петрологічного складу аномалій, дійшов висновку, що трахітоїдні крупнопорфіробластові граніти (новоукраїнські) просторово чітко корелюються з потужним гравітаційним мінімумом сили ваги [2]. Майже концентрична кільцева будова зазначеної аномалії дозволила Г.І. Каляєву вперше класифікувати Новоукраїнський масив у якості гранітного купола.

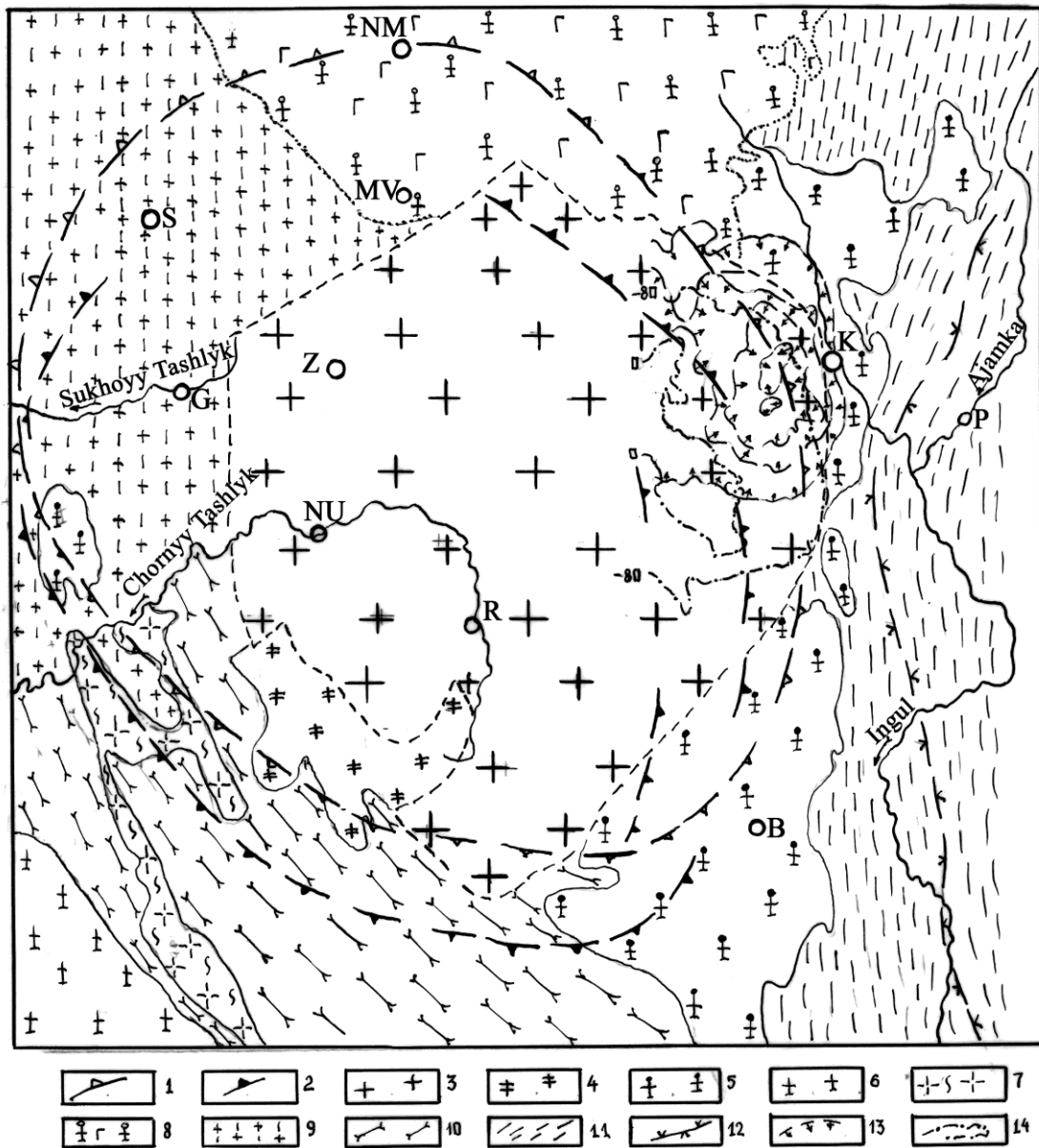
Це купольна структура, облямована різновіковими та відмінними за складом формаційними комплексами. Разом із ними та Корсунь-Новомиргородським плутоном вона була включена до Центрального осьового підняття, орієнтованого назагал у субмеридіональному напрямі, та представленого наступними формаційними комплексами: корсунь-новомиргородським (1750–1720 млн. років); новоукраїнським (2020–2025 млн. років); кіровоградським (2065–2045 млн. років; гнейсами інгуло-інгулецької серії (3100–2540 ± 50 млн. років).

Наступні детальні дослідження формування Ново-

українського гранітного масиву дозволили простежити еволюцію цього процесу включно із утворенням структур, які на більш пізніх етапах контролювали розвиток натрій-уранової формації [4]. На основі аналізу РТ умов гранітизаційного процесу й зміни пористості гранітоїдів з глибиною, рівень їх формування оцінюється у діапазоні 17–18 км. Тобто на сучасному рівні денудаційного зрізу знаходяться новоукраїнські граніти, які відповідають нижнім горизонтам амфіболітової фації. Оперуючи віковими реперними показниками, а саме – віком новоукраїнських гранітів і ендеогенних родовищ натрій-уранової формації, розміщених в межах Новоукраїнського гранітного масиву (а це відповідно 2020 млн. років та 1800 млн. років) й спираючись на дані щодо глибин формування перших (18 км) та других (2–4 км, середня глибина 3 км) [5], отримуємо середньорічну швидкість здіймань Новоукраїнського масиву у постгранітизаційні як доурановорудний, так і рудні етапи. Отже, на доурановорудному етапі за ~220 млн. років підняття оцінюються ~15 км, що у середньому за рік складає 0,68 мм.

Приймаючи до уваги такі суттєві фактори, як розвиток гранітизаційних процесів в умовах посторогенної тектоніки в південно-західній частині Сарматського щита, масштабність гранітизації у вертикальному й горизонтальному параметрах з утворенням пострудного дефіциту щільності, зазначений вище показник швидкості й щорічних підняття Новоукраїнського масиву на доурановорудному етапі був як мінімум на порядок вищим. Підняття відбувались у імпульсно-переривчастому режимі. Такий характер посторогенних підняття властивий також альпійським геоструктурам [6] і суміжним територіям [7].

На цьому, доурановорудному, етапі здіймань гранітоїдного масиву у підняття були втягнуті суміжні структурні комплекси. Як на матеріалах космічних зйомок земної поверхні, так і за результатами побудов палеоморфоізогіпс рельєфу поверхні кристалічного фундаменту та його кори вивітрювання чітко дешифрується і проявляється овальна у плані, орієнтована за північно-західним азимутом (за довгою віссю) купольна структура (рис. 1). Площа цієї структури майже в двічі перевищує площу (3,5 тис. км<sup>2</sup>) Новоукраїнського масиву крупнопорфіробластових трахітоїдних гранітів і є інтегрованим відображенням високоактивних склепінених здіймань масиву, зумовлених сформованим потужним мінімумом сили ваги у цій частині Інгульського мегаблоку.



**Рис. 1.** Новоукраїнський гранітогнейсовий купол на рівні сучасного денудаційного зрізу поверхні кристалічного фундаменту і перекриваючих осадових порід.

Умовні позначення: 1 – контур купола за результатами дешифрування матеріалів космічних зйомок земної поверхні; 2 – контур купола за палеоморфоізогіпсою + 160 м; породні комплекси: 3 – новоукраїнських крупнопорфірбластових трахітоїдних гранітів; 4 – кварцових монзонітів; 5 – кіровоградсько-бобринських гранітів; 6 – гранітів Вознесенського масиву; 7 – кіровоградсько-житомирських мігматитів та гранітів; 8 – корсунь-новомиргородських гранітів рапаківі та габро-анортозитів; 9 – кіровоградсько-житомирських гранітів та гнейсів інгуло-інгулецької серії; 10 – гнейсів бузької серії; 11 – гнейсів інгуло-інгулецької серії; 12 – вісь Приінгульської синкліналі; 13 – контур максимальних показників Соколовського гравітаційного мінімуму (стрілки гравітодинам направлені у бік зростання їх показників); 14 – атектонічні контакти різновікових породних комплексів. Назви населених пунктів, позначених пунсонами та літерами: С – Смоліне; МВ – Мала Виска; К – Кропивницький; НМ – Новомиргород; Г – Глодоси; З – Злинка; НУ – Новоукраїнка; Р – Рівне; П – Покровське; Б – Бобринець.

**Fig. 1.** Novoukrainian granite-gneiss dome at the level of the modern denudation slice of the surface of the crystalline basement and overlapping sedimentary rocks.

Symbols: 1 – contour of the dome on the basis of interpretation of the Earth surface remote sensing materials; 2 – contour of the dome with paleoisomorphogypsum + 160 m; natural complexes: 3 – Novoukrainian porphyroblastic trachitoid granites; 4 – quartz monzonite; 5 – Kirovograd-Bobrynskiy granites; 6 – Voznesenskiy massif granites; 7 – Kirovograd-Zhytomirski migmmites and granites; 8 – Korsun-Novomirgorodski granite rapakivi and gabbro-anorthosites; 9 – Kirovograd-Zhytomirski granites and Ingul-Ingulets series gneisses; 10 – Buh series gneisses; 11 – Ingul-Ingulets series gneiss; 12 – Pryingulski synclinal axis; 13 – the outline of the maximum indicators of Sokolovski gravitational minimum; 14 – 14 – a tectonic contacts of heterogeneous ore complexes. The names of the settlements are indicated as follows: S – Smoline; MV – Mala Viska; K – Kropyvnytskyi; NM – Novomyrhorod; G – Glodosy; Z – Zlynka; NU – Novoukrainka; R – Rivne; P – Pokrovske; B – Bobrynets.

Вихідний мантієний потік, моноструменевий на розділі мантія – кора, трансформувалася у нижніх горизонтах кори, де відбулась гранітизація, у поліструменевий й відповідно забезпечував умови для утворення низки дрібних купольних структур гранітного складу та скіалітів у міжкупольному просторі. Однак на доурановорудному етапі геодинаміки Новоукраїнського гранітогнейсового купола така внутрішня петрологічна неоднорідність цієї геоструктури на інтегральне здійснення не впливала.

На заключних етапах гранітизаційного процесу утворювались корові й транскорові розломи й тектоно-метасоматичні зони [3], з якими тісно пов'язана наступна ендегенна уранова мінералізація як у тілі Новоукраїнського гранітогнейсового купола, так і на його периферії.

Характерними рисами будови відзначається південно-західна периферія Новоукраїнського купола, ускладнена дрібно-купольною Бандурківською структурою. Центральна частина цієї структури складена крупнопорфіробластовими гранітами.

У контурі структури в латеральному напрямі відбувався поступовий перехід від гранітів у центрі через смуги мігматитів і пегматоїдних гранітів до гнейсів (скіалітів) бузької серії. На периферії Бандурківського купола кількість жил пегматоїдних гранітів стає 30–40 % обсягу контурної товщі, тоді як у законтурних гнейсах загальна кількість гранітного матеріалу не перевищує 10–15 %.

Доурановорудні дрібнокупольна і розломно-блокова структури, які ускладнювали внутрішню будову Новоукраїнського гранітогнейсового купола у сукупності з коровими й транскоровими (у багатьох випадках крихкими) тектонічними зонами, забезпечили умови для висхідного вертикально-латерального руху рудоносних флюїдів і формування промислових концентрацій натрій-уранової формації.

На постурановорудному етапі еволюції Новоукраїнського гранітогнейсового купола продовжувалось відносно уповільнення його здійснення з перевищеним денудаційним зрізом південної та центральної частин. Знесення зденудованого матеріалу відбулось у бік Прото-Тетіса, який був представлений на цей час Чорноморською западиною та Скіфською платформою з байкальсько-герцинським фундаментом. Цей етап тривав до пізнього рифею (початку розкриття Дніпровсько-Донецького палеорифту). Тривалість постурановорудного етапу можна оцінити ~1000–1200 млн. років. Максимальний зріз південної частини купола протягом цього часу не перевищував 4 км. У середньому вимірі це визначається показником 0,03 мм/рік. Фак-

тично це був етап стабільного тектонічного стану Новоукраїнського гранітогнейсового купола. Виключення становили нетривалі періоди тектоно-магматичної активізації; пов'язані з розростанням прилеглого з півдня фрагмента Прото-Тетіса і вкоріненням дайок баритових порід (Суботсько-Мошоринська зона розломів, низка діагонально орієнтованих дайкових смуг у південній частині Інгульського мегаблоку).

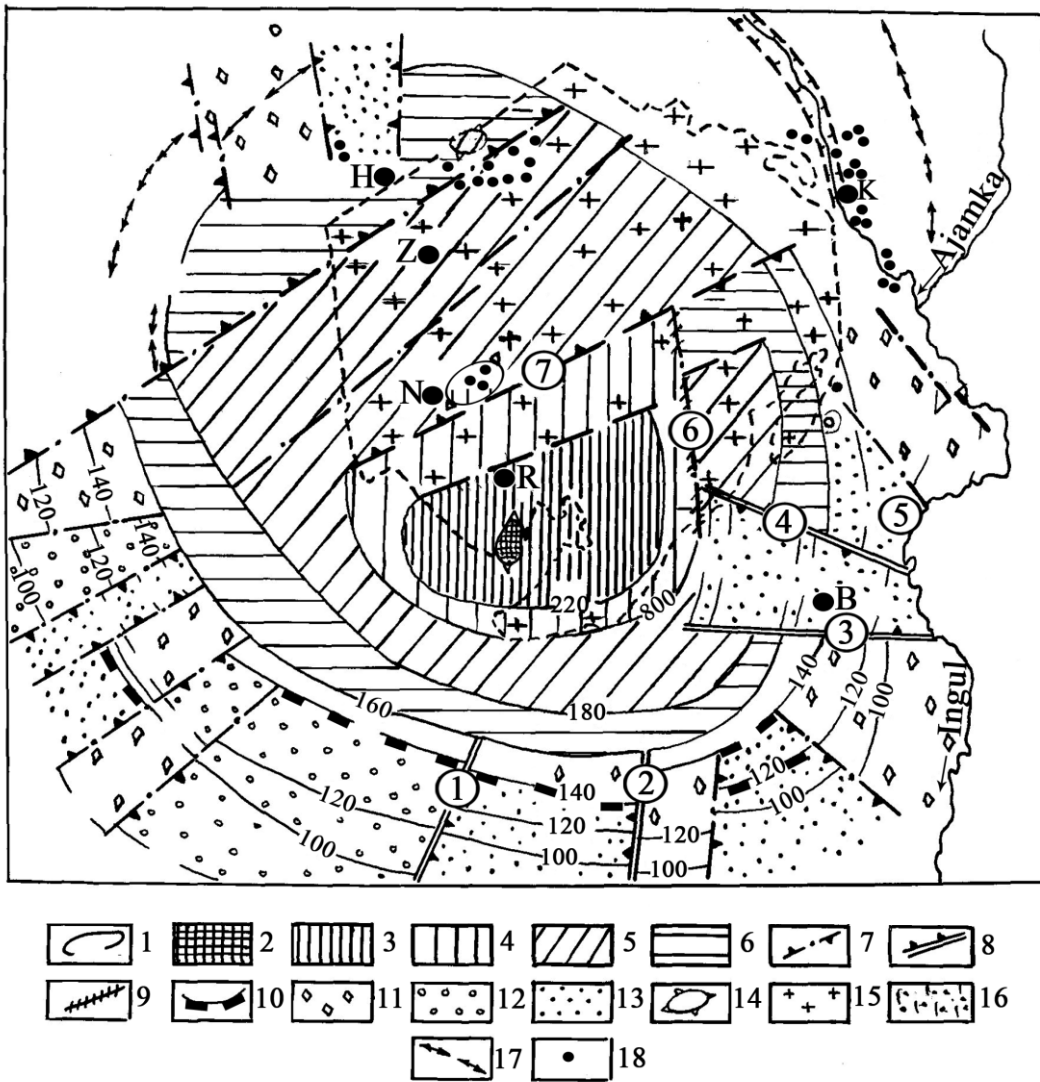
Третій довготривалий етап еволюції геодинаміки Новоукраїнського гранітогнейсового купола пов'язаний із тектоно-магматичною активізацією у районі с. Рівне – м. Новоукраїнка, де вкоренився вапняково-лужний лампрофір (Рівненська мінета). Цей процес завершився становленням штоку та дайок лампрофіру. За визначенням абсолютного віку (калій-аргоновим методом) цих інтрузивів: шток – 270–273 млн. років; дайки з азимутами південно-західних – південно-східних простягань –  $297 \pm 8$  млн. років (визначення абсолютного віку виконані Центральною комплексною лабораторією тресту «Київгеологія»).

Тектоно-магматична активізація Новоукраїнського гранітогнейсового купола синхронізується із завершальними стадіями становлення у пізньогерцинський час фундаменту Скіфської платформи. Наслідком цього процесу була міграція апікальної частини купола у південно-західному напрямі (від Соколовського мінімуму сили ваги в районі с. Рівно – м. Новоукраїнка).

Четвертий етап активізації геодинаміки Новоукраїнського гранітогнейсового купола відзначився частими знакозмінними вертикальними рухами земної кори. Переважали висхідні рухи, особливо у південній частині купола, де майже повністю завершилась денудація родовищ та рудопроявів натрій-уранової формації (Рис.2).

Крейдові та палеогенові палеодолини завдяки знакозмінним вертикальним рухам почасти фрагментарно розмиті, товщі бучацьких відкладів поліритмічні [8]. Незважаючи на наявність низки багатих за запасами ендегенних родовищ натрій-уранової формації екзогенні (гідрогенні) промислові уранові родовища у відкладах крейди, бучаку, київської та харківської світ палеогену практично відсутні.

На неотектонічному етапі еволюції Новоукраїнського купола максимальні підняття зосередились успадковано з пізньогерцинського часу у південній частині структури [9], що зумовило цілковиту відсутність тут ерозійно-аккумулятивних форм похованого рельєфу, сприятливих для гідрогенного рудогенезу.



**Рис. 2.** Диференційована геодинаміка Новоукраїнського купола у мезо-кайнозої Масштаб 1:200 000

1. Тектономорфоізогіпси поверхні кристалічного фундаменту та його кори вивітрювання. Сучасні гіпсометричні рівні поверхні кристалічного фундаменту та його кори вивітрювання: 2 – вищі 240 м; 3 – 220 – 240 м; 4 – 200 – 220 м; 5 – 180 – 200 м; 6 – 160–180 м. Градієнтні розривні порушення: 7 – активні протягом мезо-кайнозою (зубці спрямовані у бік відносно опущеного блоку); 8 – активізовані у неоген-антропогені; 9 – з горизонтальною складовою зміщення крил; 10 – дугові, які просторово корелюються з тектономорфоізогіпсами. Переферійні блоки з загальною тенденцією у мезо-кайнозої до піднять: 11 – випереджуючих суміжних блоків; 12 – фонових; 13 – уповільнених; 14 – локальні куполи. Форматійні комплекси: 15 – площа переважного розвитку Новоукраїнських крупнопорфіробластових гранітів. Дугові елементи сучасного рельєфу конформні з периферійними обмеженнями Новоукраїнського купола: 16 – ерозійні долини; 17 – водотоки; 18 – родовища та крупні рудопрояви натрій-уранової формації. Літерами позначені населені пункти: Х – Хмельове; К – Кропивницький; Н – Новоукраїнка; Б – Бобринець, З – Злинка.

**Fig. 2.** Differentiated geodynamics of the Novoukrainsky dome in the Meso-Cenozoic.

Symbols: 1. Tectomorphoisoypses of the crystalline basement and weathering crust surface. Modern hypsometric levels of the crystalline basement and the weathering crust surface: 2 – higher 240 m; 3 – 220 - 240 m; 4 – 200 - 220 m; 5 – 180 - 200 m; 6 – 160 - 180 m. Gradient faults: 7 – active during the Meso-Cenozoic; 8 – activated in Neogen-Athropogen; 9 – with the horizontal component of the wing displacement; 10 – arcs that are spatially correlated with tectomorphoic isogypses. Peripheral blocks with a general tendency to rising in the Meso-Cenozoic: 11 – leading adjacent blocks; 12 – background; 13 – delayed; 14 – local domes. Formation complexes: 15 – area of the predominant development of Novoukrainsky large porphyroblast granites. Arc elements of the modern relief conformal with the peripheral restrictions of the Novoukrainsky dome: 16 – erosion valleys; 17 – watercourses; 18 – deposits and large ore occurrences of the sodium-uranium formation. Letters indicate settlements: KH – Khmil'ove; K – Kropyvnytskyi; NU – Novoukrainka; B – Bobrynets

## Висновки

Виконані дослідження інтегрально-диференційованої геодинаміки Новоукраїнського гранітогнейсового купола дозволяють оцінити перспективи різних його площ на збереженість наявних у тілі купола родовищ натрій-уранової формації від пострудної денудації. Експоновані у південному напрямі схили купола на пострудному етапі зазнали довготривалої і глибокої денудації, наслідком якої є відсутність тут як ендегенних, так і екзогенних промислових родовищ урану. З огляду на геодинаміку Новоукраїнського гранітогнейсового купола та геологічну історію суміжних геоструктур перспективними на виявлення нових родовищ натрій-уранової формації є північна, північно-східна та північно-західна периферії купола, які зазнали відносно мінімального денудаційного зрізу. Корсунь-Новомиргородський плутон і Чигиринсько-Знам'янський гранітогнейсовий масив виступали продовж фанерозою в якості форланду у сторону Дніпровсько-Донецького палеорифту. Наявні кореневі залишки уранового зруденіння у натрієвих метасоматитах у межах Чигиринської купольної структури свідчать про глибокий денудаційний зріз цієї території у рифей – фанерозої. У денудаційному процесі продовж цього часу зазначені форланди унеможливили розвиток глибокої денудації у північній частині Новоукраїнського гранітогнейсового купола.

## Література

1. Каляев Г.И. Тектоника докембрия Украинской железорудной провинции. – Киев: Наукова думка, 1965. – 190 с.
2. Тектоника Украинского щита. – Киев: Наукова думка, 1972. – 300 с.
3. Щербак Д.Н., Пономаренко А.Н., Макаренко И.Д. Геохронология гранитоидов Ингуло-Ингулецкого мегаблока Украинского щита. Геохимия и рудообразования. – 1995. – вып. 21. – С. 74-88.
4. Эндогенное оруденение древних щитов. Отв. ред. Казанский. – Москва: Наука, 1978. – 200 с.
5. Генетические типы и закономерности размещения

урановых месторождений Украины / Отв. ред. Белевцев Я.Н., Коваль В.Б. – Киев: Наукова думка, 1995. – 397 с.

6. Гофштейн И.Д. Неотектоника Карпат. – Киев: Изд-во АН УССР, 1964. – 183 с.

7. Семенюк Н.П., Верховцев В.Г., Юськив Ю.В. Геологические и геофизические индикаторы мезо-кайнозойской разломной активизации Украинского щита. Материалы научно-практической конференции с международным участием «Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности: современное состояние проблемы». – Москва, 2014. – С. 354-358.

8. Нагірний В.М. Палеогеографічні умови утворення кайнозойських буровугільних покладів України. – Київ: Наукова думка, 1977. – 108 с.

9. Карта новейшей тектоники юга СССР масштаба 1:1000000. – Москва: Недра, 1971.

## References

1. Kalyaev G.I. (1965), *Precambrian tectonics of the Ukrainian iron ore province*, Naukova Dumka, Kiev, UA, 190 p.
2. *Tectonics of the Ukrainian shield* (1972), Naukova Dumka, Kiev, UA, 300 p.
3. Shcherbak D.N., Ponomarenko A.N., Makarenko I.D. (1995), *Geochemistry and ore formation*, Vyp. 21. pp. 74-88.
4. *Endogenous mineralization of ancient shields* (1978), Отв. ed. Kazanskiy, Nauka, Moscow, Russia. 200 p.
5. *Genetic types and patterns of distribution of uranium deposits in Ukraine* (1995),/ Отв. ed. Belevtsev Y.N., Koval V.B., Naukova Dumka, Kiev, UA, 397 p.
6. Gofshtein I.D. (1964), *Neotectonics of the Carpathians*, Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kiev, UA, 183 p.
7. Semenyuk N.P., Verkhovtsev V.G., Yuskiv Yu.V. (2014), *Materials of a scientific-practical conference with international participation "Active faults and their significance for assessing seismic hazard: current status of the problem"*, Moscow, Russia. pp. 354-358.
8. Nagirny V.M. (1977), *Paleogeographic conditions for the formation of Cenozoic brown coal deposits of Ukraine*, Naukova Dumka, Kiev, UA, 108 p.
9. *Map of the latest tectonics of the south of the USSR on a scale of 1: 1 000 000* (1971), Nedra, Moscow, Russia.

## ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ПАЛЕОГЕОДИНАМИКА НОВОУКРАИНСКОГО ГРАНИТОГНЕЙСОВОГО КУПОЛА УКРАИНСКОГО ЩИТА

**Семенюк Н.П.** к. геол.-мин. н., вед.н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», semenuk205@gmail.com

**Верховцев В.Г.** докт. геол. н., зав. отд. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», Verkhovtsev@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1015-6725

**Вайло А.В.** к. геол.-мин. н., ст.н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», alexy54@ukr.net

**Ганевич А.Е.** н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», 19ganevich@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8594-7532

**Кулибаба В.Н.** м.н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», kulibaba3398Qukr.net

*В статье рассматриваются результаты комплексных исследований интегральной и дифференциальной геодинамики раннепротерозойского Новоукраинского гранитогнейсового купола, который не имеет своего петрологического, параметрического и специализированного аналога на Украинском щите. Особенностью этой геоструктуры является масштабное образование в его пределах реоморфичных (по более древним гранитоидам) крупнопорфиробластовых гранитов (новоукраинских), а также гранитизацией гнейсовой формации, представленной здесь чечелевской свитой ингуло-ингулецкой сери и каменно-костоватской свитой бугской сери. Образование в результате гранитизационных процессов мощного гравитационного минимума привело к интенсивному поднятию гранитизированных пород и*

втягиванию в поднятие смежных негранитизированных породных комплексов. На основе сопоставления реперных дат, завершение кристаллизационных процессов новоукраинских гранитов и формирования урановородных промышленных концентраций, в апогранитных и апогнейсовых альбититах определены как равные дорудного, так и пострудного денудационного среза Новоукраинского купола. Прослежена миграция апикальной части купола, связанная с тектоно-магматической активизацией герцинской эпохи. Исследована тектоническая активизация Новоукраинского гранитогнейсового купола в кайнозое и определены глубины денудационного среза его составляющих структур и дана оценка сохранности месторождений натрий-урановой формации от пострудной денудации. Установлены этапы геодинамики купола, которые координируются с процессами становления и эволюции Украинского щита, связанной с расколом Сарматского щита Восточно-Европейской платформы, формированием смежных геоструктур и транспортировкой убогих концентраций урана в осадочных вулканогенных отложениях добайкальской эпохи, которые в течение байкальского и герцинского времени образовали фундамент Скифской платформы. Отсутствие промышленных месторождений (с более 200-метровым размахом уранового оруденения) в южной части Новоукраинского гранитогнейсового купола обусловлено дифференцированной геодинамикой этой структуры на пострудном этапе её эволюции.

**Ключевые слова:** гранитоиды, гнейсы, купол, массив, плутон, геодинамика, урановое оруденение, процесс, этап, палеодолина, восходящие движения, абсолютный возраст, натрий-урановая формация.

## INTEGRAL-DIFFERENTIATED PALOGEODYNAMICS OF THE NEW UKRAINIAN GRANITE-GNEISS DOME OF THE UKRAINIAN SHIELD

**Semenyuk N.**, PhD (Geol.-min.), leading researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», semenuk205@gmail.com

**Verkhovsev V.**, D.Sc. (Geol.), Senior Research Fellow, Head of department, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», Verkhovtsev@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1015-6725

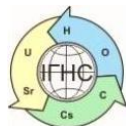
**Vaylo A.**, PhD (Geol.), Senior Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», alexv54@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9540-2448

**Ganevich A.**, Researcher, State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine», 19ganevich@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8594-7532 State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

**Kulibaba V.**, Junior Research Fellow, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», kulibaba3398Qukr.net

*The article discusses the results of comprehensive studies of the integral and differential geodynamics of the Early Proterozoic Novoukrainskyi granite gneiss dome, which does not have its own petrological, parametric and specialized analogue on the Ukrainian shield. A feature of this geostructure is a large-scale formation of rheomorphic (on ancient granitoids) coarse-porphyroblastic granites (Novoukrainskyi) within its limits, as well as granitization of the gneiss formation, represented here by the Checheliiv suite of the Ingul-Inguletsk series and the stone-Kostuvatska suite of the Buh series. The formation of a powerful gravitational minimum as a result of granitization processes led to an intense uplift of granitized rocks and the pulling into the uplift of adjacent non-granitized rock complexes. Based on a comparison of reference dates - the completion of the crystallization processes of Novoukrainskyi granites and the formation of uranium ore industrial concentrations, in the apogranite and apogneiss albitites, equal to the pre-ore and post-ore denudation sections of the Novoukrainskyi dome were determined. The migration of the apical part of the dome, associated with tectono-magmatic activation of the Hercynian era, was traced. The tectonic activation of the Novoukrainskyi granite-gneiss dome in the Cenozoic was investigated, the depths of the denudation section of its constituent structures were determined, and the safety of the deposits of the sodium-uranium formation from ore-denudation was estimated. The stages of dome geodynamics were established, which are coordinated with the processes of formation and evolution of the Ukrainian shield, connected with the split of the Sarmatian shield of the East European platform, the formation of adjacent geostructures and the transportation of low concentrations of uranium in sedimentary volcanic deposits of the pre-Baikal era, which formed the basement of the Scythian platform during the Baikal and Hercynian periods. The absence of industrial deposits (with over 200-meter wide uranium mineralization) in the southern part of the Novoukrainskyi granite-gneiss dome is the result of the differentiated geodynamics of this structure at the post-ore stage of its evolution.*

**Key words:** granitoids, gneisses, dome, massif, pluton, geodynamics, uranium mineralization, process, stage, paleo-valley, ascending, movements, absolute age, sodium-uranium formation.



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.079>  
УДК 504.064.3:(550.4:546.3–34)(477.62)

**Кураєва І.В., Сплодитель А.О.**

**Кураєва І.В.**, докт. геол. н., професор, завідувач відділу геохімії техногенних металів і аналітичної хімії, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>  
**Сплодитель А.О.**, к. геогр. н., докторант, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, [aspodytel@gmail.com](mailto:aspodytel@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

## РОЗПОДІЛ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СИСТЕМІ «ГРУНТ-РОСЛИНА» В ЛАНДШАФТАХ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЙ

*Проаналізовано процеси розподілу важких металів (мідь, нікель, свинець, хром і ін.) у системі «грунт-рослина» в типових видах рослин та основних типах ґрунтів, характерних для ландшафтів Національного природного парку «Нижньосульський». Ділянки спостережень характеризуються середнім та високим рівнем забруднення. Встановлено динаміку накопичення Ni, Zn, Cu, V, Pb та інших важких металів у системі ґрунт-рослина території протягом 2014–2019 років за рівнями імпаکتного забруднення. Аналіз ландшафтно-геохімічних умов території свідчить, що вони в цілому сприяють як міграції хімічних елементів з поверхневим стоком, так і значному вертикальному їх перерозподілу. Це попереджує інтенсивне забруднення переважної більшості ландшафтних комплексів парку забруднюючими речовинами, які мігрують з сільськогосподарських угідь, що підтверджено результатами аналізу джерел та обсягів забруднення. Аналіз вмісту важких металів у системі ґрунт-рослина території НПП «Нижньосульський» засвідчив його залежність від наявних джерел техногенного забруднення, а також високий ступінь відповідності характеру розподілу важких металів загальним закономірностям цих процесів у ґрунтах відповідних типів. Встановлено коефіцієнти концентрації важких металів у зразках ґрунту та інтенсивність міграції політантів з ґрунту в рослини за допомогою коефіцієнту біологічного накопичення. Отримані дані корелюють із загальними закономірностями процесів перерозподілу важких металів у системі «грунт-рослина». За величиною накопичення трав'янистою рослинністю важкі метали утворюють ряд: Mn > Cu > Cr > Pb > V > Ni > Ti. Еколого-геохімічні дослідження території виявили, що в умовах сильного техногенного навантаження бар'єрний тип накопичення характерний для Cu та Pb. Поглинання цих елементів віднесено до акумулятивного типу. Виявлені закономірності можуть бути використані при моделюванні геоекологічного стану території НПП, для нормування антропогенного навантаження на ділянки парку з різним режимом охорони.*

**Ключові слова:** важкі метали, форми знаходження, геохімічний ряд, ландшафт, ландшафтно-геохімічні умови.

**Вступ.** Актуальними для дослідження закономірностей перерозподілу та накопичення важких металів (ВМ) у системі «грунт-рослина» є новостворені національні природні парки (НПП), території яких характеризуються як значним ландшафтним різноманіттям, так і значною кількістю техногенних забруднюючих речовин, у тому числі ВМ. Для успішної реалізації функцій, які виконують НПП (природоохоронної, рекреаційної та ін.), необхідна всебічна геоекологічна оцінка їх територій. Важливою складовою оцінки є якісні показники транслокації ВМ із ґрунту в рослину, адже таким чином вони залучаються до кругообігу і можуть акумулюватися в біоті.

**Стан вивченості питання.** Важкі метали є необхідним компонентом у метаболізмі рослин, однак у високих концентраціях вони здатні до акумуляції та токсичних впливів. Вивчення хімічного складу рослин дозволяє встановити критерії їх індикаторної здатності, а також дає підстави використовувати їх у

якості чутливих біоіндикаторів рівнів забрудненості ґрунтів [15].

Надходження ВМ в рослини з ґрунту контролюють дві групи чинників: вміст рухомих форм ВМ у ґрунті, який регулюється властивостями самого ґрунту та біологічними особливостями рослин по відношенню до іонів ВМ [11].

На процес поглинання ВМ рослинами ґрунт впливає двояким чином. З одного боку, ґрунти в процесі поглинання (сорбції) знижують кількість акумулюючих елементів в рослині. Однак з іншого боку, акумуляція сорбованих елементів у верхніх горизонтах, тобто в зоні найбільшого поширення коренів, сприяє їх поглинанню рослинами та інтенсивному накопиченню, ніж при вільній міграції ВМ у більш глибокі горизонти ґрунту [5,6,12].

Отже, сорбція ВМ ґрунтами регулює їх транслокацію з ґрунту в рослини та як наслідок накопичення їх рослинами. Неоднакова міцність закріплення ВМ в

грунтах свідчить, що їх надходження в рослини, в першу чергу, визначається типом ґрунту і тими його властивостями, які відповідають за поглинаючу здатність. На надходження важких металів впливає кілька факторів: видові особливості рослин, тип ґрунту, концентрація, форма знаходження ВМ, рН ґрунту, гранулометричний склад, вміст органічних речовин, ємність поглинання катіонів у ґрунті, наявність техногенних джерел забруднення ландшафтів тощо [6,9].

Ґрунтам з високим рН, вмістом глинистих мінералів, карбонату кальцію та органічної речовини властива висока поглинаюча здатність по відношенню до ВМ. Такі ґрунти або повністю звільняють рослину від контакту з ними, або роблять ці контакти менш небезпечними.

Видалення ВМ з ґрунтового розчину відбувається в процесі осаду або адсорбції. ВМ мають підвищену здатність до адсорбції органічною речовиною та оксидами, а також до заміщення лужних і лужноземельних металів. У кислих ґрунтах рухливість ВМ підвищується і тим самим збільшується їх доступність. Як правило, з кислих ґрунтів ВМ надходять у рослини в значно більших кількостях, ніж з слаболужних, нейтральних або слабокислих. Так, на дерново-підзолистому ґрунті (рН = 5,3) за однакової концентрації Рb насиченість листової тканини пшениці в 2 рази вище, ніж на високобуферному малогумусному чорноземі (рН = 6,9) [8-13].

У той же час рослини мають захисні властивості щодо поглинання ВМ. У них існує кілька систем контролю за надходженням іонів. В основному вони знаходяться в коренях та репродуктивних органах (насінні і плодах). Тут зосереджені механізми регламентації надходження іонів у рослини. Вивчення транслокації ВМ у рослини показало, що на перших етапах надходження ВМ з ґрунтів їх основна частина затримується в коренях рослин (Lubben, Sauerbeck, 1991). Передбачається, що затримання відбувається по периферії коренів, у зоні так званого паска Каспарі [3,4].

Разом із тим захисні механізми кореневої системи обмежені, і при інтенсивному надходженні токсичних іонів з ґрунту вони не в змозі повністю захистити вегетативну масу від забруднення, ВМ починають проникати в надземну частину рослин. При цьому рослини забезпечені механізмами контролю надходження хімічних елементів в репродуктивну частину (насіння).

Хімічний склад рослин залежить від складу ґрунтів, на яких вони ростуть, але не повторюють його, тому що вибірково поглинають необхідні елементи відповідно до фізіологічних і біохімічних потреб. Механізми стійкості рослин до надмірного надходження важких металів різноманітні: одні здатні накопичувати високі концентрації металів і проявляти до них

толерантність, інші – зменшувати кількість їх надходження шляхом максимального використання бар'єрних властивостей. Рівень накопичення важких металів рослинами залежить від їх генетичних і видових особливостей [13].

Незважаючи на істотну мінливість властивостей рослин щодо накопичення металів, біоакумуляція елементів має певну тенденцію, що дозволяє впорядкувати їх в кілька груп: 1) Cd, Cs, Rb – елементи інтенсивного поглинання; 2) Zn, Mo, Cu, Ni, Pb, As – середнього ступеня поглинання; 3) Mn, Cr, Co – слабого поглинання; 4) Se, Fe, Ba, Te – елементи важкодоступні для рослин [8]. Відомо, що поряд з видовою специфічністю рослин щодо накопичення ВМ існують загальні закономірності: найбільш високий вміст важких металів виявлено в листових овочах і силосних культурах, найменший – у бобових, злакових та технічних культурах [9].

Відомості щодо розподілу ВМ в органах рослин вельми суперечливі (Ільїн, 1973; Добровольський, 1983; Ільїн, 1991). Одні автори вказують на велику акумуляцію ВМ в надземних органах (Леванідов, Давидов, 1961; Ковалевський, 1969), інші – в коренях (Кузіна, 1969; Павлов та ін., 1989). Часто відзначається відмінність концентрацій ВМ у різних надземних органах (листяках, стеблах, плодах), що може бути пов'язане з видоспецифічністю метаболізму рослин та з властивостями елементів (Добровольський, 1993).

Багатьма авторами (Прохорова та ін., 1998; Битюцький, 1999) відзначені видові відмінності рослин у характері металоакумуляції. При цьому встановлено, що видова специфічність металоакумуляції може проявлятися дуже чітко, оскільки для деяких видів нормою стають концентрації ВМ, які в сотні і тисячі разів перевершують фонові (Fernandes, Енрікес, 1991). Такі аномальні властивості до металоакумуляції – рідкісні, але вони є фітоіндикаторами підвищеного вмісту важких металів або окремого елементу в ґрунтах і підстилаючих породах [11-14].

**Постановка завдання та методи.** Системних даних щодо коефіцієнтів біокумуляції ВМ по території НПП «Нижньосульський» немає, що зумовлено як значним рослинним розмаїттям, так і значними відмінностями типів ґрунтів.

Нами проведено дослідження з накопичення деяких техногенних (Cu, Pb, Ni) металів у типових видах рослин території НПП «Нижньосульський» протягом вегетаційного періоду 2015-2019 рр. Для вивчення було обрано ділянки в різних ландшафтних умовах території парку з відмінним режимом охорони. Ділянки пробовідбору рослин відповідають ділянкам дослідження ґрунтових профілів [1-2].

Вміст важких металів у фітомасі рослин визначали в їх зольних розчинах методом атомно-абсорбційної



спектрометрії на приладі марки STE-1 та методом мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS) аналізатор ELEMENT-2 (Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України та Національному науковому центрі «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського».

Загалом було відібрано 2037 зразків ґрунту та 570 зразків рослин. Для виявлення ступеню поглинання важких металів у системі «ґрунт – рослина» в досліджуваних зразках проведено хімічний аналіз вмісту в рослинах ВМ I класу небезпеки (Pb) та II класу небезпеки (Ni, Cu, Cr) тощо (Рис.1).

Для характеристики біогенної міграції важких металів і біогеохімічних особливостей рослин застосовано методики, розроблені І.А. Авессаломовою, Ю.Ю. Састом, О.І. Перельманом. Кількісну оцінку надходження токсичних мікроелементів з ґрунту в рослини проводили розраховуючи коефіцієнт біологічного накопичення (КБН), який визначається співвідношенням вмісту металу в одиниці маси акцептора (рослини в перерахунку на її суху масу) і донора (ґрунту) (Avessalomo, 1987).

$$\text{КБН} = \frac{Lx}{Nx},$$

де  $Lx$  – вміст елемента в золі рослин,

$Nx$  – його вміст у ґрунті.

**Метою дослідження** є аналіз закономірностей розподілу важких металів у системі «ґрунт-рослина» в ландшафтах модельного природоохоронного об'єкта – Національного природного парку «Нижньосульський».

**Результати дослідження.** За сучасним фізико-географічним районуванням України територія НПП «Нижньосульський» переважно відноситься до Північно-Дніпровського терасово-рівнинного лісостепу (західна частина досліджуваної території) та Південно-Дніпровського терасово-рівнинного лісостепу (східна частина досліджуваної території) Лівобережно-дніпровського Лісостепового краю Дніпровської терасової рівнини [1]. У межах території дослідження домінують ландшафти лесових та моренно-воднольодовикових надзаплавних терас і річкових заплав.

В геоструктурному відношенні територія дослідження розміщена в межах південно-західного борту Дніпровсько-Донецької западини. Кристалічний фундамент вивопнений товщею осадових відкладів різного віку – від девону до антропогену. Серед кристаліч-

них порід докембрійського часу виділяються біотит-плагіоклазові гнейси і гранітоїди житомирсько-кіровоградського комплексу. Породи докембрію перекриті чохлом осадових порід, потужністю від 60 м на південному заході території до 1600 м на північному сході [1,2].

Рельєф південної частини Дніпровської терасової рівнини генетично представлений флювіогляціальними та алювіальними рівнинами. Геоморфологічні особливості терас подібні терасам північної області терасової рівнини, однак спостерігаються певні відмінності в їх локалізації. Своєрідною особливістю території є нерівномірний характер їх розміщення. В межах області тераса Дніпра фрагментована долинами рік Оржиці та Сули [1].

Основний геохімічний фон тут складають наступні *групи класів ландшафтів* [2]:

**Ландшафти кислого геохімічного класу** - з відповідною роллю іона водню  $H^+$ : Н, Н,Н-Fe, Н-Fe;

**Ландшафти кальцієвого та кальцієво-карбонатного класу** - з абсолютною роллю кальцію  $Ca^{2+}$ : Ca,  $CaCO_3$ ;

**Перехідні групи ландшафтів з участю кальцію і іона водню  $H^+$ - $Ca^{2+}$ :**

**Ландшафти карбонатно-глейового класу:**  $Ca|(H-Fe)$ ,  $Ca|[H-Fe]$ ,  $Ca|H-Fe$ ,  $CaCO_3|[H-Fe]$ ,  $CaCO_3|(H-Fe)$ ;

**Ландшафти кислого кальцієвого класу:** Н-Са, Н-Са|[H-Fe], Н-Са|H-Fe;

**Ландшафти кальцієво-магнієвого карбонатного класу:** Са-Мg| $CO_3$ ;

**Соленосні ландшафти:**

**Ландшафти солонцюватого класу** - за участі іона натрію, що забезпечує рухливість вуглеводу ( $Ca^{2+}$ - $Na^+$ ):Са-На, Са-На|[H-Fe], Са-На|(H-Fe), Са-На|H-Fe, Са-На|Cl, Са-На|Cl|[H-Fe], Са- $SO_4$ |H-Fe;

**Ландшафти содово-солончакового класу** - з участю легкорозчинних солей, в присутності яких відбувається коагуляція органічних з'єднань:

$Na-HCO_3$ ;

**Ландшафти кисло-солончакуватого класу:** Н-Fe|Na- $CO_3$ ;

Аналіз ландшафтно-геохімічних умов території НПП «Нижньосульський» показав, що різко виражені відмінності простежуються на рівні класів, серед яких переважають кальцієві перехідні ( $H^+$ - $Ca^{2+}$ ) та солонцюваті ( $Ca^{2+}$ - $Na^+$ ). Менше розповсюджені кислі, кислі глеуваті ( $H^+$ ,  $H^+$ - $Fe^{2+}$ ), кальцієво-магнієво карбонатні та інші класи.

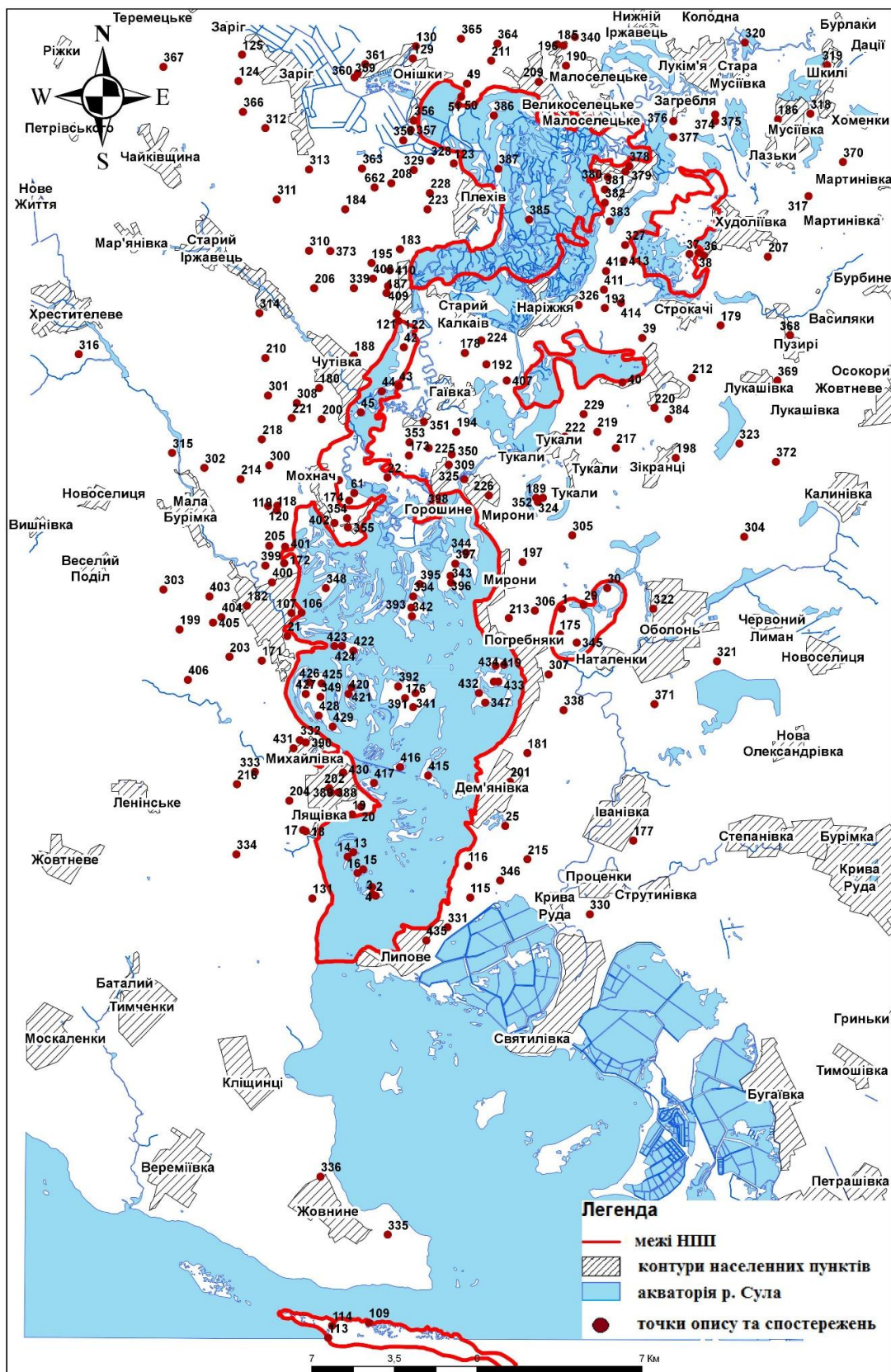


Рис.1 Карта фактичного матеріалу території НПП «Нижньосульський»

Fig.1 Map of the sampling area at the territory of the National Natural Park “Nyzhniosulskiy”

Антропогенний вплив, окрім сільськогосподарської діяльності, на території НПП пов'язаний із великими підприємствами, зокрема ВАТ "Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат" у м. Комсомольськ, АТ "Укртатнафта" у м. Кременчук, ВАТ "Кременчуцький сталеливарний завод", ТОВ "ТФ "Кременчук-нафтопродукт" (АЗС 55, Чернобаївський район), ПАТ "Укрнафта" (АЗС № 230/05, с. Іркліїв, Чернобаївський район), ТОВ "НадеждаРитейл" (АЗС з АГЗП, смт. Чернобай), ПАТ "Укртрансгаз", (с. Мала Бурімка, Чернобаївський район), ВАТ "Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат" (м. Комсомольськ, ВАТ "Кременчук нафтопродукт-сервіс" (збереження та збут нафтопродуктів), склад отрутохімікатів ВАТ "Хорольська сільгоспхімія" тощо [1,2].

#### **Вміст важких металів у системі ґрунт-рослина території НПП «Нижньосульський»**

Аналіз даних виявив, що розподіл важких металів у рослинах території НПП характеризується значною неоднорідністю. Мінімальне й максимальне значення концентрацій валових форм забруднювачів різняться до 100 разів. Так, вміст валових форм сполук ванадію змінюється в діапазоні від 1 до 40 мг/кг, сполук хрому – від 2 до 30 мг/кг, купруму – від 4 до 100 мг/кг, нікелю – від 1 до 50 мг/кг, свинцю – від 2 до 25 мг/кг, марганцю – від 10 до 4500 мг/кг, титану – від 2 до 3000 мг/кг. При віддаленні від основних джерел забруднення спостерігається зменшення концентрації валових форм сполук нікелю, свинцю та хрому, а концентрація сполук марганцю та ванадію залишається стабільно високою. Вміст валових форм важких металів у рослинах можна розташувати в наступний ряд:  $Mn > Cu > Cr > Pb > V > Ni > Ti$ . Такий розподіл вказує на можливість надходження значної кількості сполук важких металів перших класів небезпеки з ґрунтів у рослини та опосередкованого впливу на стан здоров'я населення території НПП [4-10].

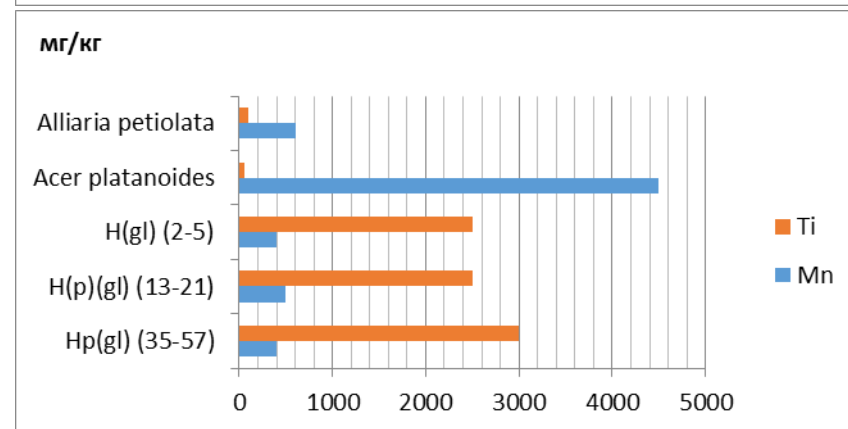
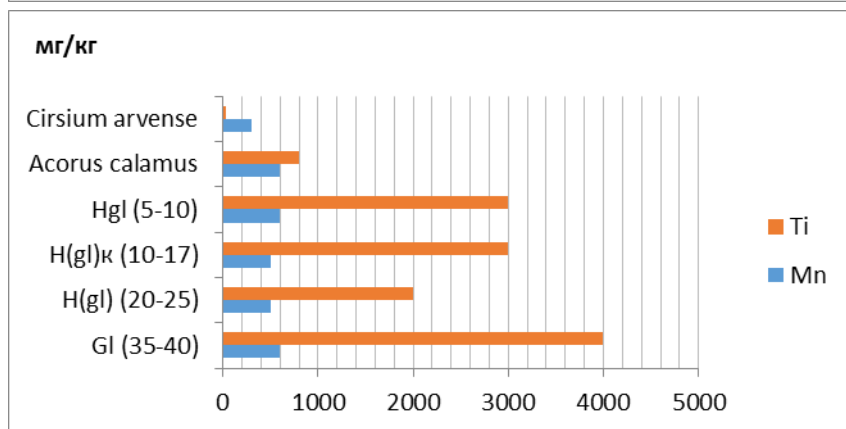
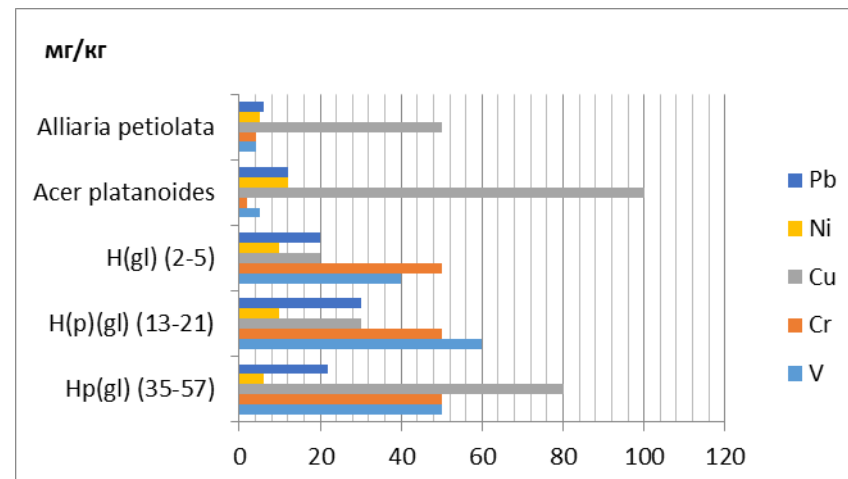
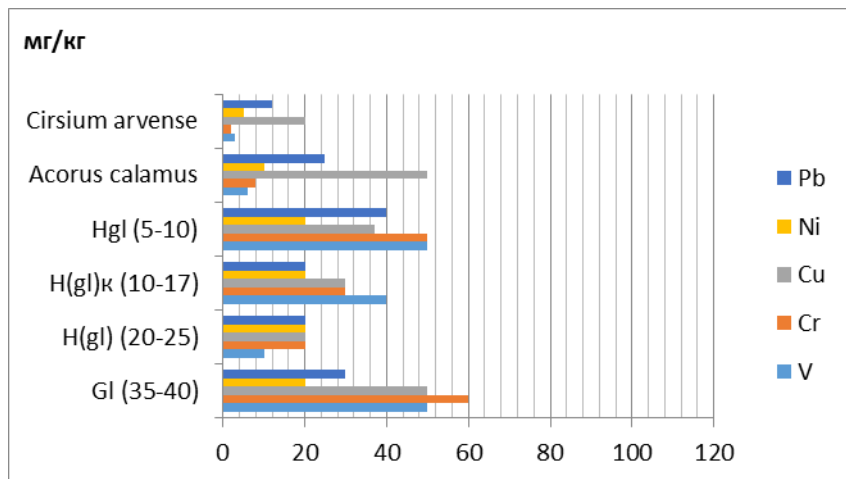
Валові концентрації металів у ґрунтовому профілі алювіальних дернових супіщаних ґрунтів знижуються в 1,5-2 рази в порівнянні з суглинковими аналогами. Найвиразніше ця закономірність проявляється у Cr, V, Ni, Zn, слабше на зміну гранулометричного складу горизонтів реагують концентрації Cu і Pb. Гумусові горизонти алювіальних супіщаних ґрунтів характеризуються менш контрастним зниженням валових концентрацій металів у порівнянні з суглинковими ґрунтами. Це свідчить про конвергенцію вмісту елементів в гумусових горизонтах ґрунтів на різних ґрунтоутворюючих породах [2-4]. Вміст рухомих форм Mn, Pb,

Cu, Zn в супіщаних ґрунтах у 2-3 рази, а Cr, Ni - у 10-15 разів нижче в порівнянні з суглинковими.

В чорноземах типових та дернових суглинкових ґрунтах ґрунтоутворюючою породою є лесовидні суглинки, що підстилаються мореною. Вміст гумусу трохи вищий - від 1,5 до 3,3%. Величина рН практично однакова для обох типів ґрунтів, однак для дернових ґрунтів її варіабельність суттєво вища - від 4 до 6,1. Це сприяє накопиченню катіонів важких металів через зменшення їх міграційної здатності при закріпленні у ґрунтово-поглинальному комплексі. Валовий вміст металів у чорноземах типових малогумусних суглинкових у середньому на 30-40% вищий, ніж у дерново-підзолистих суглинкових ґрунтах, що, ймовірно, зумовлено внутрішньоґрунтовим стоком. Валовий вміст у точках відбору зразків становить вище фонових значень, подекуди фіксувалися перевищення ГДК: Ni - 60 мг/кг (при фонових показниках 22мг/кг), Ti - 3000 мг/кг (2250мг/кг), V - 50-60 мг/кг (41мг/кг), Cr - 50-60 мг/кг (49 мг/кг), Cu - 80-100 мг/кг (12-16мг/кг), Pb - 40-50 мг/кг (10 мг/кг).

Абсолютні значення рухомих форм металів і їх рухливість в дернових ґрунтах близькі до відповідних значень алювіальних суглинкових ґрунтів, тільки у Cr вміст у гумусовому горизонті майже в 2 рази нижчий. Варіабельність рухомих форм металів також зберігається на попередньому рівні у більшості елементів, окрім Pb і Cr, у яких вона зростає у 1,4-2,2 рази. Дернові піщані ґрунти на флювіогляціальних пісках за абсолютним вмістом валових і рухомих форм металів близькі до дерново-підзолистих з аналогічним гранулометричним складом.

Алювіальні дернові глеюваті солонцюваті супіщані ґрунти характеризуються шаруватістю ґрунтоутворюючих відкладів, наявністю похованих гумусових горизонтів, підвищеним вмістом гумусу – 1,9-2,96%. Вплив ґрунтових вод проявляється в оглеєнні нижньої частини або всього профілю, а також в лужності ґрунтового розчину. Тому для нижніх горизонтів характерна відновна слаболужна (рН>7) реакція. Внаслідок легкого гранулометричного складу ґрунтоутворюючих відкладів та значного ухилу днища долини р. Сули рухомі форми ВМ виносяться з алювіальних ґрунтів, тому тут їх у 1,3-1,5 рази менше, ніж в ґрунтах надзаплавно-терасових рівнин, за винятком Ni. Найбільшу концентрацію ВМ мають алювіальні дернові глейові ґрунти, що пояснюється осадженням елементів, які надходять із внутрішньоґрунтовим бічним стоком.



**Розподіл ВМ: Аір звичайний (Acorus calamus) та Будяк польовий (Cirsium arvense) на лучно-болотних поверхнево-слабосолонцюватих легкосуглинкових ґрунтах, 134-16 (с.Ляшівка)**

**Distribution of heavy metals: Acorus calamus and Cirsium arvense on meadow-swamp soils, 134-16 (Lyashchivka village)**

**Розподіл ВМ: Клен гостролистий (Acer platanoides) та Кінський часник звичайний (Alliaria petiolata) на алювіальних дернових легкосуглинкових ґрунтах, 136-18 (ур.Березове)**

**Distribution of heavy metals: Acer platanoides and Alliaria petiolata on alluvial soils, 136-18 (Birch tr.)**

**Рис.2** Розподіл ВМ в системі «ґрунт-рослина» території НПП «Нижньосулський»

**Fig.2** Distribution of heavy metals in the soil-plant system of the territory of the National Natural Park “Nyzhniosulskyi”

Тип ґрунту/рослинність	№ точки	Генетичний горизонт, см	Хімічний елемент, мг/кг													
			V	КБП	Cr	КБП	Cu	КБП	Ni	КБП	Pb	КБП	Mn	КБП	Ti	КБП
Лучно-болотні поверхнево-слабосолонцюваті	940-16-4	[H] (44-47)	30		15		20		10		20		300		2000	
	940-16-3	P(gl) (26-33)	25		20		10		15		10		250		1500	
	940-16-2	H(p) (11-18)	20		20		12		27		12		200		1500	
	940-16-1	H (3-7)	30		10		10		30		10		400		1000	
<i>Верба попеляста</i>	<b>940-1</b>	<b>Salix cinerea L.</b>	<b>10</b>	<b>0,3</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>4</b>	<b>0,4</b>	<b>18</b>	<b>0,6</b>	<b>2</b>	<b>0,2</b>	<b>800</b>	<b>2</b>	<b>39</b>	<b>0,04</b>
<i>Щавель кінський</i>	<b>940-2</b>	<b>Rumex confertus</b>	<b>12</b>	<b>0,4</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>21</b>	<b>0,7</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>400</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>-</b>
Алювіальні дернові глейові поверхнево-слабосолонцюваті	1037-19-4	Gl (54-59)	40		40		40		6		30		400		2000	
	1037-19-3	Gl (32-37)	50		43		50		6		20		500		2000	
	1037-19-2	Hgl (16-27)	50		47		40		8		30		500		3000	
	1037-19-1	H(gl)s (3-8)	40		50		30		10		20		500		3500	
<i>Купина запашна</i>	<b>1037-1</b>	<b>Polygonatum odoratum</b>	<b>17</b>	<b>0,4</b>	<b>6</b>	<b>0,12</b>	<b>10</b>	<b>0,33</b>	<b>28</b>	<b>2,8</b>	<b>3</b>	<b>0,15</b>	<b>500</b>	<b>1</b>	<b>500</b>	<b>0,14</b>
<i>Клен гостролистий</i>	<b>1037-2</b>	<b>Acer platanoides</b>	<b>29</b>	<b>0,7</b>	<b>4</b>	<b>0,08</b>	<b>40</b>	<b>1,33</b>	<b>50</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>0,25</b>	<b>800</b>	<b>1,6</b>	<b>210</b>	<b>0,06</b>
Торфувато-болотні карбонатні глибоко-солонцюваті	1552-18-3	Glk(s) (36-42)	50		40		50		20		20		600		1200	
	1552-18-2	Hglks (20-27)	40		35		40		15		10		530		1500	
	1552-18-1	Ht (5-13)	50		30		80		10		20		500		2100	
<i>Щавель кінський</i>	<b>1552-1</b>	<b>Rumex confertus</b>	<b>5</b>	<b>0,1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>40</b>	<b>0,5</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>2</b>	<b>0,1</b>	<b>500</b>	<b>1</b>	<b>1000</b>	<b>0,4</b>
Солонці лучно-чорноземні напівгідроморфні легкосуглинкові	1759-18-4	Hp (56-60)	60		50		40		20		12		600		3000	
	1759-18-3	Hi(p)glks (33-42)	80		60		40		30		20		570		3000	
	1759-18-2	Hglks (15-23)	60		60		50		40		30		600		3000	
	1759-18-1	H(gl)(k)s (4-10)	80		70		50		47		20		500		3000	
<i>Житняк пустельний</i>	<b>1759-1</b>	<b>Agropyrum desertorum Fish</b>	<b>25</b>	<b>0,3</b>	<b>60</b>	<b>0,8</b>	<b>20</b>	<b>0,4</b>	<b>15</b>	<b>0,3</b>	<b>6</b>	<b>0,3</b>	<b>500</b>	<b>1</b>	<b>870</b>	<b>0,29</b>

Примітка. КБП – коефіцієнт біологічного поглинання

Рис.3 Концентраційні залежності вмісту важких металів у системі ґрунт–рослина

Fig.3 Concentration dependences of heavy metal content in the soil-plant system

Серед болотних ґрунтів переважають торф'яно-глейові ґрунти низинних боліт у старорічних зниженнях. У цих ґрунтах поряд із ґрунтовими водами досить значну роль відіграє специфічна болотна рослинність, яка визначає кислу реакцію середовища верхнього горизонту - рН 4,7-5,4, і накопичення органічної речовини. Вміст більшості металів у болотних ґрунтах майже не відрізняється від такого ж в дернових суглинкових ґрунтах, за винятком (Cu і Mn). Валовий вміст Cu (50-100 мг/кг) у 8-10 рази, а Mn (660 мг/кг) у 2-3 рази вищий за фонові показники, відповідно 5,3 та 166 мг/кг.

З отриманих даних, згідно зі шкалою І.А. Авессаламова та В.В. Добровольського, до елементів сильного накопичення (КБН>1) відносяться Cu, Ni, Mn, Ti. Слабке накопичення (КБН<1) характерне для Cr, V, Pb як для деревних, так і для трав'янистих рослин. Це додатково ілюструють порівняльні ряди інтенсивності накопичення валових форм вмісту досліджуваних важких металів у різних видах рослин території НПП [11].

Результати наших досліджень показали, що всі досліджені види рослин у найбільшій кількості акумулювали мідь та марганець, на другому місці за інтенсивністю накопичення стояв свинець, далі хром і ванадій. В розрізі окремих видів рослин високу акумулюючу здатність по відношенню до міді демонстрували клен гостролистий (*Acer platanoides*), а низьку – верба попеляста (*Salix cinerea* L.) і яглиця звичайна (*Aegopodium podagraria*). Представники цих видів у найменших кількостях накопичували також ванадій та титан, а максимальні кількості цих елементів концентрували представники видів грястиця збірна (*Dactylis glomerata*) і дзвінець пізній вузьколистий (*Rhinanthus major*). Загалом же спостерігалась тенденція щодо збільшення концентрації важких металів у деревних видах, в яких розсічена будова листової пластинки, або ж є опушення чи восковий наліт на листках, що можна пояснити посиленням фіксації забруднювачів, які надходять аеральним шляхом, на листові поверхні. Варто відзначити, що деревна рослинність в цілому накопичувала більше важких металів, ніж трав'яниста. У деревній рослинності найбільше варіює вміст марганцю, а у трав'янистій – свинцю та міді (Рис.2).

У цілому, фітоакумуляція металів в умовах заплави ріки Сули характеризується видовою специфічністю і значною мірою пов'язана з умовами виростання, насамперед з поліметалевим забрудненням ґрунту та атмосфери. В цілому біологічне поглинання зольних елементів в органах листяних порід сильніше, ніж в хвойних. У хвої вміст свинцю в середньому становить 0,1 мг/кг, в

той час як в листі - 0,6 мг/кг. Вміст міді в гілках сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) 0,4 мг/кг, затримання в гілках клену гостролистого (*Acer platanoides*) 2-5 мг/кг. Кора клену активніше накопичує свинець та мідь. Таким чином, абсолютна кількість всіх мінеральних елементів, що беруть участь в біологічному кругообігу під пологом широколистяних лісів, вища, ніж в хвойних [5].

Вміст міді в нормі для трав'янистих вважається в інтервалі концентрацій від 5,0-30,0 мг/кг сухої маси (Cottenie і ін., 1976, Кабата-Пендіас, Пендіас, 1989). Критична концентрація - 150,0 мг/кг сухої маси (Тарабрин, 1980). ГДК для міді визначена на рівні 15,0-20,0 мг/кг сухої речовини (Sauerbeck, 1982). Вміст міді в надземній частині трав'янистих рослин протягом дослідження був високим. На досліджуваних майданчиках вміст металу становив у середньому 25-40 мг/кг сухої маси (Рис.3).

Максимальний вміст Cu був зафіксований для клену гостролистого (*Acerplatanoides*) на алювіальних дернових легкосуглинкових ґрунтах (*точка пробовідбору 136-16*), щитника чоловічого (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott) на дерново-слабопідзолистих піщаних ґрунтах (*139-16*) та будяка польового на алювіальних дернових шаруватих глейових карбонатних легкосуглинкових ґрунтах (*Cirsiumarvense*) (*150-16*).

За літературними даними, вміст нікелю в різних видах рослин становить від 0,1-1,0 (Ільїн, 1991) до 8,1 мг/кг (Бекер, Chesnm, 1975) за критичної концентрації 3,0 мг/кг (Бекер, Chesnm, 1975; Тарабрин, 1980). ГДК нікелю для рослин встановлено в межах 20,0-30,0 мг/кг сухої речовини (Sauerbeck, 1982), фітотоксична концентрація - більше 80,0-100,0 мг/кг (Cottenie і ін, 1976; Verloo і ін, 1982) [15].

Як встановлено проведеними дослідженнями, нікель слабо акумулюється деревними рослинами і не перевищує ГДК. Найменша його концентрація відзначена в листі верби попелястої (*Salix cinerea* L.) і складає в середньому 1 мг/кг сухої маси протягом усього досліджуваного вегетаційного періоду. У клена гостролистого (*Acer platanoides*) концентрація металу значно вища (11 мг/кг) і суттєво відрізняється у всіх досліджуваних деревних видах. В умовах фону концентрація нікелю не змінювалася. У трав'янистих рослинах найвищі показники вмісту були відзначені для купини запашної (*Polygonatum odoratum*) на алювіальних дернових глейових поверхнево-слабосолонцюватих ґрунтах – 28 мг/кг (*137-16*) та аїру звичайного (болотного) (*Asogus salamus*) на лучно-болотних поверхнево- слабосолонцюватих легкосуглинкових ґрунтах – 10 мг/кг (*134-16*).

В цілому, накопичення нікелю в досліджуваних видах не перевищувало ГДК і не змінювалося протягом досліджуваного періоду. Видової специфіки до накопичення металу не відзначено.

Для рослин нормальна концентрація свинцю лежить в межах від 0,1 до 5,0 мг/кг сухої речовини (Бекер, Chesnm, 1975; Ільїн, 1991; Виноградов, 1957), критична - 10 мг / кг (Тарабрин, 1980).

На поглинання Pb рослинами вказує кореляція вмісту металу в коренях із вмістом в ґрунтах. Стійкість рослин до надлишку Pb неоднакова: злаки характеризуються низькою стійкістю, більш стійкі бобові. Цим пояснюється прояв симптомів інтоксикації Pb у різних видів рослин за різної концентрації металу в ґрунті - від 100 до 500 мг/кг.

Найбільший вміст свинцю фіксувався для очерета звичайного (*Phragmites australis*) на торфувато-болотних карбонатних глибоко-слабосолонцюватих ґрунтах – 50 мг/кг (160-16), конюшини лучної (*Trifolium pratense*) на лучних поверхнево-слабосолонцюватих легкосуглинкових ґрунтах – 40 мг/кг (157-16), для будяка польового (*Cirsium arvense*) на алювіальних дернових шаруватих глейових карбонатних легкосуглинкових – ґрунтах – 50 мг/кг (150-16). Мінімальна концентрація даного металу зареєстрована для сосни звичайної (*Pinussylvestris*) та верби попелястої (*Salix cinerea* L.0.) на дерново-слабопідзолистих піщаних та алювіальних дернових шаруватих супіщаних ґрунтах (139-16,140-16).

Концентрація Cr в рослинах корелює з вмістом його розчинних форм в ґрунті. Незважаючи на високий вміст в ґрунті, доступність хрому для рослин невелика. Найбільш високий вміст хрому спостерігається в коренях, а не в надземній частині рослин. Підвищена концентрація хрому була виявлена для дзвінця вузьколистого (*Rhinanthus major*) – 30 мг/кг (144-16) та конюшини лучної (*Trifolium pratense*) – 10 мг/кг (157-16) на лучних поверхнево-слабосолонцюватих легкосуглинкових ґрунтах.

Повільне засвоєння рослинами розчинних форм хрому обумовлено особливостями механізму їх поглинання кореневою системою. Ймовірно, кореневі тканини не здатні відновлювати Cr<sub>3+</sub> до легко засвоюваного Cr<sub>2+</sub>, хоча цей процес є ключовим в процесах абсорбції.

**Висновок.** Аналіз проведених досліджень демонструє, що у межах одного виду рослин розподіл ВМ носить рівномірно-дисперсний характер, але при цьому коливання вмісту окремих ВМ у рослинах може сягати від ± 7% до ± 25-35%. Найбільша здатність до біоаккумуляції виражена у марганця і купруму, адже ці метали

відносяться до біогенних мікроелементів. В цілому, вміст ВМ у рослинах території НПП «Нижньосульський» є невисоким і може вважатись фоновим для даного регіону.

Якщо розглядати акумуляцію ВМ між різними видами рослин, то, як і можна було очікувати, найбільшою здатністю до біокумуляції володіє щитник чоловічий, дзвінець пізній вузьколистий та грядиця збірна, а найменшою – деревні види рослин, зокрема, сосна звичайна. Перераховані види рослин можна використовувати як біоіндикатори забруднення території парку ВМ і як рослини, придатні для **виведення з ґрунту важких металів** (фітореємедіації).

Виявлені закономірності можуть бути використані при прогнозуванні процесів накопичення ВМ у рослинних ценозах, що є важливою складовою моделювання геоекологічного стану території НПП, нормування антропогенного навантаження на ділянки парку з різним режимом охорони.

#### Література

1. Географічна карта «Ландшафтні комплекси Національного природного парку «Нижньосульський» та прилеглих територій» (у цифровому форматі, базовий масштаб 1:25 000). А.О. Сплодитель. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №68925. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 06.12.2016.
2. Географічна карта «Ландшафтно-геохімічна карта Національного природного парку «Нижньосульський» та прилеглих територій» (у цифровому форматі, базовий масштаб 1:25 000). Л.Ю. Сорокіна, А.О. Сплодитель, С.Г. Брегеда, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №68926. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 06.12.2016.
3. Джанаев, З.Г. Почвенно-агрохимическая оценка состояния плодородия почв Северного Кавказа. Москва: МГУ, 2004. С. 600-725.
4. Лозановская, И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биол. спец. вузов. М.: Высш.шк., 1998. 287 с.
5. Лукина, Н.В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова. Лесоведение. 1993. №6. С. 34-41.
6. Майстренко, В.Н. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. М.: Химия, 1996. 312 с.
7. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометиздат, 1981. 108 с.
8. Панин, М.С. Миграция тяжелых металлов и пути поступления их в растения. Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья, 1999. С. 23-30.

9. Панин М.С. Контроль уровня загрязненности тяжелыми металлами сельскохозяйственной продукции. Докл. третьей междунар. науч.-техн. конф. Пища. Экология. Человек. М., 1999. С. 126.

10. Позняк С.С. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах и растительности Центральной зоны Республики Беларусь, Известия Тульского гос. ун-та. Естественные науки 2011 вып. 1, с. 254-264

11. Позняк С.С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова Вестник Томского госун-та. Биология 2011 №1(13)

12. Розподіл та накопичення важких металів в рослинах та ґрунтах на територіях розміщення відходів вугледобутку, В.І. Демура, В.О. Готвянська, А. В. Павличенко. Геотехнічна механіка, 2013. Вип. 111. С. 23-29.

13. Садовникова Л.К. Показатели загрязнения почв тяжелыми металлами и неметаллами в почвенно-химическом мониторинге. Почвоведение, 1985. № 10. С. 84-89.

14. Серія географічних карт: Розподіл важких металів (Ag, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Ti, V) та поліелементного забруднення (за сумарним показником забруднення) у сучасному ґрунтовому покриві (горизонт 0–5 см) Національного природного парку «Нижньосульський» та прилеглих територій» (у цифровому форматі, базовий масштаб 1:50 000). І.В. Кураєва, Л.Ю. Сорокіна, А.О. Сплодитель, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68927. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 06.12.2016.

15. Тарабрин, В.П. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Микроэлементы в окружающей среде. Киев: Наукова думка, 1980. С. 17.

## References

1. *Heohrafichna karta «Landshaftni kompleksi Natsionalnoho pryrodnoho parku «Nyzhnosul'skyi» ta prylehlykh terytorii» (u tsyfrovomu formati, bazovyi masshtab 1:25 000)*, (2016), Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir №68925.

2. *Heohrafichna karta «Landshaftno-heokhimichna karta Natsionalnoho pryrodnoho parku «Nyzhnosul'skyi» ta prylehlykh terytorii» (u tsyfrovomu formati, bazovyi masshtab 1:25 000)*, (2016), Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir №68926.

3. Djanaev, Z.G. (2004), *Pochvenno-agrohimicheskaya otsenka sostoyaniya plodorodiya pochv Severnogo Kavkaza*. Moskva, pp. 600-725.

4. Lozanovskaya, I.N. (1998), *Ekologiya i ohrana biosfery pri himicheskom zagryaznenii: ucheb. posobie dlya him., him.-tehnol. i biol. spets. Vuzov, Vyssh.shk.*, 287 p.

5. Lukina, N.V. (1993), *Pogloschenie aerotehnogennykh zagryazniteley rasteniyami sosnyakov na severo-zapade Kolskogo poluostrova. Lesovedenie*, No.6, pp. 34-41.

6. Maystrenko, V.N. (1996), *Ekologo-analiticheskiy monitoring supertoksikantov*, Himiya, 312 p.

7. *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu polevykh i laboratornykh issledovaniy pochv i rasteniy pri kontrole zagryazneniya okrujayushey sredy metallami*, (1981), Gidrometioizdat, 108 p.

8. Panin, M.S. (1999), *Migratsiya tyajelykh metallov i puti postupleniya ih v rasteniya. Akkumulyatsiya tyajelykh metallov rasteniyami Semipalatinskogo Priirtyishya*. pp. 23-30.

9. Panin M.S. (1999), *Kontrol urovnya zagryaznenosti tyajelyimi metallami selskohozyaystvennoy produktsii*. Dokl. Tretey mejdunar. nauch.-tehn. konf. Pisha, Ekologiya, CHelovek, pp.121-126.

10. Poznyak S.S. (2011), *Fonovoe soderjanie tyajelykh metallov v pochvah i rastitelnosti TSentralnoy zonyi Respubliki Belarus*. Izvestiya Tuls'kogo gos. un-ta. Estestvennyie nauki, No.1, pp. 254-264.

11. Poznyak S.S. (2011), *Soderjanie nekotorykh tyajelykh metallov v rastitelnosti polevykh i lugovykh agrofitotsenozov v usloviyah tehnogennogo zagryazneniya pochvennogo pokrova*, Vestnik Tomskogo gosun-ta, Biologiya, No.1 (13). pp. 3-17.

12. *Rozpodil ta nakopichennya vajkh metaliv v roslinah ta truntah na teritoriyah rozmischennya vidhodiv vuglevidobutku*, (2013), Geotehnichna mehanika, No.15, Vol.111, pp. 23-29.

13. Sadovnikova L.K. (1985), *Pokazateli zagryazneniya pochv tyajelyimi metallami i nemetallami v pochvenno-himicheskom monitoringe*. Pochvovedenie, No.10, pp. 84-89.

14. *Seriia heohrafichnykh kart: Rozpodil vazhkykh metaliv (Ag, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Ti, V) ta polielementnogo zabrudnennia (za sumarnym pokaznykom zabrudnennia) u suchasnomu ґрунтовому покриві (горизонт 0–5 см) Natsionalnoho pryrodnoho parku «Nyzhnosul'skyi» ta prylehlykh terytorii» (u tsyfrovomu formati, bazovyi masshtab 1:50 000)*, (2016), Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 68927.

15. Tarabrin V.P. (1980), *Fiziologiya ustoychivosti drevesnykh rasteniy v usloviyah zagryazneniya okrujayushey sredy tyajelyimi metallami*, Mikroelementy v okrujayushey srede. Kiev: Naukova dumka. pp. 17-28.



## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ» В ЛАНДШАФТАХ ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

**Кураева И.В.**, доктор геологических наук, профессор, Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семеновко НАН Украины, Киев, Украина, <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

**Сплодытель А.О.**, кандидат географических наук, докторант, Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семеновко НАН Украины, [asplodytel@gmail.com](mailto:asplodytel@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

*Проанализированы процессы распределения тяжелых металлов (медь, никель, свинец, хром и др.) в системе «почва-растение» в типичных видах растений и основных типах почв, характерных для ландшафтов Национального природного парка «Нижнесульский». На примере репрезентативных ключевых участков рассмотрено содержание тяжелых металлов в почвах и ландшафтные предпосылки их миграции. Отмечено, что ландшафтно-геохимические условия территории определяют геохимическую структуру антропогенно измененных ландшафтных комплексов и характер миграции химических элементов. Анализ содержания тяжелых металлов в системе «почва-растение» территории НПП «Нижнесульский» показал его зависимость от имеющихся источников техногенного загрязнения, а также высокую степень соответствия характера распределения тяжелых металлов общим закономерностям этих процессов в почвах соответствующих типов. Большинство ВМ поступают в акваторию Сулы преимущественно с талыми снеговыми водами. Установлены коэффициенты концентрации тяжелых металлов в образцах почвы и интенсивность миграции поллютантов из почвы в растения с помощью коэффициента биологического накопления. Полученные данные коррелируют с общими закономерностями процессов перераспределения тяжелых металлов в системе «почва-растение». По величине накопления травянистой растительностью тяжелые металлы образуют ряд:  $Mn > Cu > Cr > Pb > V > Ni > Ti$ . Эколого-геохимические исследования территории обнаружили, что в условиях сильного техногенной нагрузки барьерный тип накопления характерен для  $Cu$  и  $Pb$ . Поглощение этих элементов относится к аккумулятивному типу. Выявленные закономерности могут быть использованы при моделировании геоэкологического состояния территории НПП, для нормирования антропогенной нагрузки на участки парка с различным режимом охраны.*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, геохимический ряд, ландшафт, ландшафтно-геохимические условия.

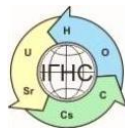
## DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE «SOIL-PLANT» SYSTEM IN THE LANDSCAPES OF NATURE CONSERVATION AREAS

**Kuraieva I.V.**, D.Sc. (Geol.), professor, Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

**Splodytel A.O.**, Ph.D.(Geopr), Doctoral Candidate, Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, [asplodytel@gmail.com](mailto:asplodytel@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

*The processes of heavy metals (Cu, Ni, Pb, Cr of and others) distribution have been analysed in the 'soil-plant' system for the typical types of plants and basic types of soils characteristic for the landscapes of the National Natural Park "Nyzhniosulskiy". The heavy metal content in the soil along with the landscape based preconditions for their migration have been reviewed using representative key areas as an example. Landscape-geochemical conditions determine the geochemical structure of anthropogenically changed landscapes and the characteristics of chemical elements migration. The content of heavy metals in soils and plants was determined by atomic adsorption using ICP-MS analyzer ELENENT-2 (Germany). Ecological-geochemical assessment of soil contamination on the total index was made by the Yu. Sayeta method. To characterize the biogenic migration of heavy metals and biochemical features of plants we used the method of I. Avessalomova. The areas of research are characterized by medium (moderately dangerous) and high (dangerous) pollution. A geochemical association of heavy metals in soil was identified. Biogeochemical characteristics of plants of technogenesis zones were established. The coefficients of biological accumulation of heavy metals in plants were calculated. The obtained data correlate with the general regularities of the redistribution processes of heavy metals in the 'soil-plant' system. The discovered general regularities can be used while modeling the geoecological state of the national park territory, for setting the norms of the anthropogenic loading on the areas of the park with different protection regimes. The results of this study have been introduced into practice at the NNP "Nyzhniosulskiy" in organizing and conducting the research work, for planning tourist and recreational activities, forming tourist routes, and organizing the recreational infrastructure.*

**Keywords:** heavy metals, geochemical association, landscape, landscape-geochemical conditions.



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.090>  
УДК 553.04:621.039 (477)

**Яценко В.Г., Земсков Г.А.**

**Яценко В.Г.**, канд. геол.-мин.наук, зав. лаб., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-8113-5702>, [vgyatsenko@gmail.com](mailto:vgyatsenko@gmail.com)

**Земсков Г.А.** н.с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-7445-5329>

## «СТРАТЕГИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ» – ВЕДУЩИЙ ФАКТОР МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ ПОЛИТИКИ.

*На фоне концептуального подхода к минерально-сырьевой проблеме в целом в статье характеризуется понятие «стратегические минеральные ресурсы» в аспекте ведущего фактора минерально-сырьевой политики на уровне государства. Раскрываются сущность этой категории минеральных ресурсов и ее стержневая позиция в общей схеме решения проблемы. Подчеркивается, что проблема минеральных ресурсов предопределяется постоянно действующим противоречием между жизненно важной необходимостью систематического потребления Человеком (сообществом, государством) минеральных ресурсов и ограничительным характером доступа к ним. Объект изучения формулируется авторами работы как «Минерально-сырьевая политика государства», а предмет исследования – «Стратегические минеральные ресурсы как наиболее значимая часть потребляемых минеральных ресурсов государства, рассматриваемая в качестве ведущего фактора минерально-сырьевой политики». Рассмотрение минерально-сырьевой политики на примере ряда стран (США, Китай, Россия, страны Евросоюза, Канада, Япония и др.) показывает, что, хотя каждая из них уникальна в этом смысле и имеет свои приоритеты, здесь проявляются, вместе с тем, некоторые черты сходства в понимании этой проблемы и способах ее решения. Отсюда проистекает ряд положений, анализ которых позволяет констатировать, что они представляют собой «нацупаннные» в процессе практической деятельности наиболее крупные элементы эффективности («инструменты») минерально-сырьевой политики «продвинутых» государств. Исследования показывают, что «решающее звено» здесь формируют положения, связанные с обозначением «стратегичности» применительно к определенным видам минерального сырья, а также их «критичности» в аспекте «риска предложений» и «уязвимости от ограничения поставок» из зарубежных источников. Таким образом, опираясь на эти эмпирические выводы, предоставляется возможным обозначить «стратегическую линию» и главные шаги в решении минерально-сырьевой проблемы. Решающее значение при этом, как полагают авторы, имеет корректное наделение «стратегическим» статусом наиболее важной части потребляемых государством минеральных ресурсов, что позволяет создать на этой основе высокоранговый инструмент минерально-сырьевой политики.*

**Ключевые слова:** стратегические минеральные ресурсы, критические минеральные ресурсы, минерально-сырьевая политика

**Введение.** Как известно, некоторые виды полезных ископаемых получают статус особо важных для жизнедеятельности государства, что находит отражение в таких близких по содержанию терминах как «стратегические минеральные ресурсы» (СМР), «стратегические виды полезных ископаемых» (СВПИ), «стратегическое минеральное сырье» и др. Исследования показывают, что наделяясь стратегическим статусом, такие минеральные ресурсы (в комплексе с рядом мероприятий) приобретают качество высокорангового инструмента – ведущего фактора «минерально-сырьевой политики государства».

Доступность человеческого сообщества к полезным ископаемым (минеральному сырью), особенно к некоторым из них, носит остропроблемный характер. Первопричиной это связано, главным образом, с фактором неравномерного и ограничительного характера распределения в глобальном масштабе источников минеральных ресурсов при все более возрастающих в них потребностях. Эта проблемная ситуация исторически носит перманентный характер, и вытекающая отсюда «минерально-сырьевая проблема», подлежащая неизбежному решению применительно к конкретным условиям каждого государства, никогда не сходит с повестки дня. В этой связи неудивительно, что существует

постоянный запрос на получение новых знаний в этой области человеческой деятельности.

Минерально-сырьевая проблема может быть рассмотрена на следующих масштабных уровнях: *глобальном*, где она исследуется в общемировом аспекте, и где, в частности, обозначается универсальный подход к ее решению; *регионально-локальном*, где исследуется соответствующий целевой мотив и политика конкретного государства в этой сфере жизнедеятельности; и *локальном*, где в этом смысле позиционируются производственные предприятия.

**Постановка проблемы и цель работы.** В настоящей работе акцент сделан на глобальном уровне теоретического рассмотрения минерально-сырьевой проблемы в той ее части, которая часто ассоциируется с понятием «стратегические минеральные ресурсы». Ее основная цель – осветить не только их сущностную сторону, о чем частично уже было доложено авторами ранее [12, 13, 14], но обосновать их позицию как ведущего фактора минерально-сырьевой политики государства.

Сопутствуя человечеству на протяжении всей его истории, минерально-сырьевая проблема в своей сущности предопределяется постоянно действующим противоречием между жизненно важной необходимостью систематического потребления человеком (обществом, государством) «минеральных ресурсов» и ограничительным характером доступа к ним. При этом проявляется тенденция расширения номенклатуры их применения и увеличения объема потребления. Проблема относится к разряду «важных» и «комплексных», где через разноплановые взаимоотношения непрерывно решаются многочисленные задачи: с одной стороны, Человека с Природой («металлогенические исследования», «геологоразведочные работы», «добыча», «переработка») и, с другой – Человека с Человеком («политика», «договор», «торговля», «давление», «конфликт», «война» и др.). В данном случае речь идет о взаимоотношении Человека с Человеком (в форме государственных образований) в области минерально-сырьевой деятельности. Из такого подхода вытекает формулировка **объекта изучения**: «Минерально-сырьевая политика государства». А **предмет исследования**, в нашем случае, – «Стратегические минеральные ресурсы как наиболее значимая часть потребляемых минеральных ресурсов государства, рассматриваемая в качестве ведущего фактора минерально-сырьевой политики».

**Результаты и их обсуждение.** Изучение различных категорий информационных источников показывает,

что современным «драйвером» аналитических исследований в рассматриваемой области являются наиболее «развитые» и отчасти «развивающиеся» страны, где наблюдается повышенный интерес к этой проблеме [1-3, 7, 8, 10-18 и др.]. Рассмотрение минерально-сырьевой проблемы на примере таких стран (США, Китай, Россия, страны Евросоюза, Канада, Япония, Австралия, Бразилия и др.) показывает, что хотя каждая из них уникальна в этом смысле и имеет свои приоритеты, здесь, вместе с тем, выявляются некоторые черты сходства в понимании этой проблемы и способах ее решения. Обобщая, их можно сформулировать следующим образом:

1) наличие декларативных утверждений об исключительной важности минеральных ресурсов в жизнедеятельности государства в качестве основы его материального производства, благосостояния и безопасности;

2) стремление в общем списке потребляемых страной полезных ископаемых выделить наиболее приоритетные минеральные ресурсы («СМР», «СВПИ», «стратегически важные для экономики» и др. термины), которые объявляются главной заботой государства в сфере минерально-сырьевой политики;

3) выделение (в последнее время) категории минеральных ресурсов в качестве «критических» (КМР);

4) отсутствие, вместе с тем, четких (и полных) определений этих терминов («СМР», «СВПИ», «КМР» (и им подобных) и, соответственно, критериев их обозначения (выделения);

5) стремление иметь собственные источники минеральных ресурсов, обозначаемые подобными терминами, а в случае их отсутствия или недостаточности, – внешние источники с наименьшими геополитическими рисками;

6) понимание важной роли Государства в функционировании системы недропользования, особенно в той ее части, где затрагивается проблема таких минеральных ресурсов;

7) понимание необходимости формирования минерально-сырьевой составляющей Госрезерва на случай кризисных ситуаций;

8) понимание необходимости нормативно-правового обеспечения в решении проблемы минеральных ресурсов.

9) разработка и формирование комплекса различных инструментов минерально-сырьевой политики.

Отсюда проистекает ряд положений, анализ которых позволяет констатировать, что они представляют собой «нащупанные» в процессе исторической деятельности наиболее крупные элементы («конструкты») эффектив-

ности, применяемые при проведении минерально-сырьевой политики «продвинутых» государств. Исследования показывают, что «решающее звено» здесь формируют положения, связанные с обозначением «стратегичности» применительно к определенным видам минерального сырья [2,3,7,8,12-14,16,17 и др.], а также (в рамках полученной локализации) их «критичности» в аспекте «риска предложений» и «уязвимости от ограничения поставок» из зарубежных источников. Таким образом, проявляется стремление обосновать некоторую часть минеральных ресурсов главной заботой государства, что означает сосредоточить усилия на решающем направлении, т.е. сформировать стержень в минерально-сырьевой политике в целом. Рассматривая такой прием с общеметодологических позиций, можно сказать, что это шаг очевидной целесообразности [6].

Таким образом, опираясь на эти эмпирические выводы, предоставляется возможным обозначить «стратегическую линию» и главные шаги в решении минерально-сырьевой проблемы. Они состоят, как представляется, в проведении следующих принципиальных мероприятий (задач):

1. Обозначение «стратегических видов полезных ископаемых» (СВПИ) в общей номенклатуре потребляемых государством видов минерального сырья и формирование «Перечня СВПИ» как целеполагающего документа.

2. Обозначение приемлемых источников СВПИ (СМР), определение «критичности» дефицитного минерального сырья и возможности бесперебойного снабжения стратегически важных объектов государства.

3. Формирование специализированного нормативно-правового блока документов, определяющих приоритетный статус СМР в области минерально-сырьевой политики;

4. Формирование «координационного центра» решения стратегических вопросов в сфере минерально-сырьевой деятельности.

*Первая задача* ставит своей основной целью обозначение (выделение) конкретных видов полезных ископаемых стратегического назначения в общей номенклатуре минерального сырья, используемого государством в своей жизнедеятельности. Обычно они обозначаются взаимодополняющими терминами «СВПИ» и «СМР», несущими в себе характеристики соответственно качественного и количественного содержания; реже – тер-

мином «СВМС» (стратегические виды минерального сырья) [4].

Можно предположить, что сущностные истоки этого понятия находятся в глубинах истории, когда некоторой части полезных ископаемых уже придавалось значение особой важности, что, вероятно, находит отражение в обозначении периодизации развития человечества (каменный, бронзовый, железный века). Считается, что такого рода термины и понятия начали содержательно оформляться в XX столетии в условиях социально-экономического и политического кризиса, нарастания международной напряженности и развязывания двух мировых войн [8 и др.]. В качестве «стратегических» тогда считались все исключительно важные и остродефицитные виды минерального сырья, необходимые, прежде всего, для промышленного производства военного назначения. Относящиеся к этому времени научно-техническая разработка и производство «атомной бомбы» с вовлечением в технологический оборот совершенно новых видов минерального сырья (уран, особо чистый графит, цирконий, кадмий и др.), способствовало углублению этого понятия с приданием ему ярко выраженной геополитической окраски.

Исследования показывают, что выделение СВПИ далеко не тривиальная задача. При этом возникает ощущение, что здесь не всегда придерживаются каких-либо правил, обеспечивающих корректность получаемых результатов. Однако тот факт, что в специальной литературе практически отсутствует описание и подробный анализ этого важного мероприятия, может свидетельствовать о существующих здесь объективных трудностях. С другой стороны, иногда просматривается авторитарно-волевой подход, связанный с корпоративной (ведомственной) заинтересованностью, или иной мотивацией с опорой на какие-либо нечетко сформулированные соображения. Отмечаются также откровенно декларативные случаи предоставления конкретных видов минерального сырья в качестве «стратегических» без каких-либо обоснований.

Анализ проблемы вместе с тем показывает, что «выделение СВПИ» – это все-таки мероприятие процедурного свойства, одновременно включающее в себя научно-аналитические исследования, мнение экспертных авторитетов и высокоранговую ответственность.

На первый взгляд, процесс «выделения СВПИ» выглядит весьма просто и сводится к разделению всей совокупности используемых государством видов полезных ископаемых по основанию «стратегичность» на два класса: «стратегические» и «обычные» (нестратегические). Однако этому препятствует отсутствие в кон-

кретных видах полезных ископаемых, как таковых, имманентно присущих им признаков «стратегичности». Именно этим обстоятельством обуславливается необходимость разработки оценочно-критериальной системы как необходимого инструмента для корректного решения задачи.

При рассмотрении этого вопроса, прежде всего, возникает необходимость раскрытия понятия «стратегия» – «стратегичность». В достаточно подробном виде его анализ сделан в работе [8]. В приемлемой для текущего рассмотрения задачи форме, оно обозначено в одной из наших работ [12] при определении понятия СМР: «*Стратегические минеральные ресурсы* – это приоритетные минерально-сырьевые формирования (запасы, резервы и др.), состоящие из тех видов полезных ископаемых, которые в соответствии с Национальной доктриной (через процедуру «выделение-утверждение») принимаются на некоторую перспективу в качестве одного из важнейших компонентов устойчивого развития и безопасности государства». Анализируя эту формулировку, прежде всего, следует отметить неразрывность (взаимодополняемость) понятий СМР и СВПИ, где употребляемые в них слова «стратегические» подчеркивают особую важность определенного минерально-сырьевого продукта. Термин СМР здесь понимается не в узком геологическом значении, как выраженные в количественном отношении промышленно-оцененные скопления полезных ископаемых (запасы и прогнозные ресурсы) находящиеся в недрах, а как содержащиеся на особом учете минерально-сырьевые формирования государства (запасы, резервы), а также текущие импортные поступления, имеющие «стратегическую» направленность. При этом подчеркивается процедурный момент обозначения их качественного наполнения (СВПИ).

Один из наиболее важных моментов в понимании «стратегичности» – обозначение цели, назначения СМР (СВПИ), что, являясь их важнейшим сущностным свойством, в конечном счете предопределяется Национальной доктриной. Последняя понимается авторами как совокупность главных доктринальных документов государства, определяющих цели, принципы безопасности и устойчивого социально-экономического развития страны на относительно долгосрочную перспективу. Иначе говоря, субъектом «стратегичности» в данном случае выступает «государство», через доктринальное видение которого некоторой части полезных ископаемых придается свойство особой значимости, соотносимое с понятием «стратегичность». Таким образом, несмотря на то, что анализируемая формулировка носит весьма общий характер, тем не менее здесь содержатся

принципы, на базе которых может идти разработка более конкретных оценочных критериев. Вероятно, именно в этом смысле следует трактовать работу [7], где сделана попытка опереться, при рассмотрении этой проблемы на пример США и России, на некоторые «принципы» и «критерии». И несмотря на отсутствие здесь полноты анализа, можно одновременно положительно оценивать как конструктивный двухуровневый подход на пути к решению этого вопроса. С нашей точки зрения, «принцип» здесь проявляется в роли высоко-рангового критерия. Охватывая нижестоящие критериальные уровни, он возглавляет их ранжированный комплекс, функционирующий по «принципу последовательных приближений».

Таким образом формируется *концептуальный принцип* в этой оценочной системе, который олицетворяет собой высший критериальный уровень, где декларируется главный обобщающий признак СВПИ – исключительная востребованность (императив, высшая степень необходимости) определенных видов полезных ископаемых (минерального сырья) для эффективного функционирования государства на некоторую перспективу своего развития. Основываясь на Национальной доктрине, *концептуальный принцип* задает главное направление анализа потребляемых государством минеральных ресурсов в качестве одного из важнейших средств социально-политического, геополитического, социально-экономического и военного назначения.

Исходя из этого, критериальный анализ должен распространяться на состояние и задаваемые пути развития основного базиса жизнедеятельности рассматриваемого государства с охватом всех сфер значимого потребления минеральных ресурсов (минерального сырья). При этом представляется важным подчеркнуть следующие методологические моменты:

а) при определении «стратегичности» видов минеральных ресурсов следует исходить не из них, как таковых, а из понимания «стратегичности» непосредственного потребителя или конечного продукта производства, в создании которого они участвуют в качестве особо важного компонента;

б) предпочтительно использование *принципа расстановки приоритетов*, т.е. вовлечение в анализ все сферы потребления минерального сырья с последующей расстановкой их по степени стратегичности.

Представляется, что критерии на «стратегичность» минеральных ресурсов можно получить через обозначение подобным качеством таких наиболее удобных для анализа общепринятых хозяйственных единиц, как крупные «производственные комплексы» государства,

выделенные по признаку отраслевой принадлежности: топливно-энергетический, водохозяйственный, военно-промышленный, металлургический, аграрный, машиностроительный, химический, жилищно-строительный и др. [1, 5 и др.] Каждая страна имеет свою структуру потребления минеральных ресурсов. Вместе с тем, существует определенное сходство в потреблении некоторых видов минерального сырья, охватываемых *социально-бытовой сферой: воздух (кислород), вода, почвенно-растительный слой* (через пищевые продукты), *топливно-энергетические (нефть, газ, уголь, уран и др)* – через отопление, освещение, транспорт и др. Следовательно, сюда относятся следующие производственные комплексы: водохозяйственный, аграрный, топливно-энергетический. Уникальное природное свойство входящих в эти производственные комплексы видов минерального сырья – быть исключительно востребованными, являясь *неотложно необходимым* компонентом текущей жизнедеятельности. Их приоритетность не вызывает возражений. Безусловно, к этой категории следует отнести также минеральные ресурсы, потребляемые *сферой безопасности*.

Рассматривая рядовую часть *производственной сферы*, важно определить стратегическую роль каждого производственного комплекса, функционирующего в жизнедеятельности конкретного государства. Это можно сделать через оценку значимости выпускаемой продукции, представляющей совокупность таких макропоказателей, как доля в ВВП, вклад в бюджет страны, количество предоставляемых рабочих мест, размер валютной выручки и др. Судя по всему, здесь нельзя обойтись без математических процедур и экспертных оценок, где критериальные обозначения сводятся, в конечном счете, к бальным оценкам и приоритетному позиционированию. В результате, производится расстановка в едином ранговом списке всех производственных комплексов (и отдельных производств со значимым потреблением минеральных ресурсов) в соответствии с полученными оценками. Понятно, что производственные комплексы *социальной сферы и сферы безопасности* должны занять при этом первые строчки.

Наиболее трудный вопрос – где в этом общем списке (и каким образом) провести границу, отделяющую «стратегические производственные комплексы» от обычных. Не вызывают серьезных возражений лишь те оценки, которые базируются на аналитических данных. В нашем случае такой подход применим в основном к экономической стороне вопроса, тогда как, согласно концептуальному принципу, другие носители «стратегичности» (политический, социальный, военный и др.

аспекты) во многом поддаются лишь экспертной оценке. Поэтому здесь многое зависит от высоких целей и задач конкретного государства. При этом, как представляется, вполне уместно применить закон (принцип) Парето «80×20». Суть его состоит в том, что обычно 80% от полученного результата приносят лишь 20% действующих субъектов.

Каждый из вошедшего в такую группу стратегический производственный комплекс логично воспринимать как совокупный критерий, обозначающий в качестве стратегических все потребляемые им конкретные виды полезных ископаемых (минерального сырья). Хотя таковыми, вероятно, могут быть обозначены только те из них, которые участвуют непосредственно в производственном процессе при создании стратегически важного продукта, или существенным образом оказывают влияние на получение «стратегического» эффекта производственного комплекса в целом.

Важно отметить, что такая схема выделения СВПИ не является всеохватывающей. Имеются ввиду случаи, когда выявленные в недрах месторождения полезных ископаемых не востребованы в производственной сфере данного государства, но, вместе с тем, могут быть высоколиквидными на мировых сырьевых рынках, являясь, таким образом, источником значимого валютного пополнения. Или, например, выявленные месторождения полезных ископаемых могут рассматриваться как источник минерального сырья, «стратегичность» которого реально обозначается на определенную перспективу развития на основании директивных документов.

Таким образом, если в обобщенном виде рассматривать весь потребляемый страной перечень конкретных видов минеральных ресурсов, то в категорию «стратегических» попадут только те из них, которые квалифицируются как:

- средство безопасности, в том числе военного назначения;
- неотложное средство социального жизнеобеспечения;
- существенная сырьевая компонента энергетики страны;
- важная сырьевая компонента для стратегических отраслей экономики страны;
- важный источник валюты и валютно-финансовых поступлений;
- средство геополитического значения (воздействия);

- сырьевая компонента стратегической направленности, реально обозначенная на определенную перспективу развития.

Касаясь документального оформления итогов рассматриваемой задачи, следует отметить главное: наглядно доказательный результат, в целом, может быть представлен в виде различных текстовых пояснений, таблиц, графиков и др., однако конечный официальный формат – это «Перечень стратегических видов полезных ископаемых (минерального сырья)». В опубликованном виде [8 и др.] он обычно представляет из себя список простого перечисления минеральных ресурсов, квалифицированных в качестве «стратегических».

Представляется, что в более корректном варианте он может состоять из нескольких ранжированных по степени стратегичности групп СВПИ (минерального сырья), сформированных по единству технологической принадлежности. Вероятно, будет полезным отдельной строкой внести сюда также «перспективно-стратегические минеральные ресурсы». К ним предлагается отнести те конкретные виды полезных ископаемых, в которых, исходя из различных доводов, обнаружены явные признаки потенциально-стратегического характера. Такая группа минеральных ресурсов – ближайший резерв для расширения перечня СМР.

Являясь важным целеполагающим документом страны, «Перечень СВПИ» принимается и утверждается, как правило, на высоком административном уровне. Такая практика может быть объяснима не только ощутимой финансовой затратностью последующих мероприятий, но и вероятностью отнесения его к разряду особо важных закрытых документов.

*Вторая задача* касается, прежде всего, вопросов обозначения приемлемых источников СВПИ, возможности доступа и бесперебойного снабжения минеральным сырьем стратегически важных объектов государства. Базовым документом здесь является «Перечень СВПИ». При этом следует учесть исторический опыт и исследования, которые свидетельствуют о том, что *реализация требуемого уровня обеспеченности* минеральными ресурсами любой страны мира находится в зависимости от ряда факторов [13]:

- свойства подконтрольного геологического пространства;

- текущего состояния минерально-сырьевой базы и минерально-сырьевого комплекса;

- текущего состояния минерально-сырьевой составляющей «Госрезерва»;

- места в сложившейся транснациональной системе экономических связей;

- конъюнктуры мирового рынка;

- валютно-финансовых возможностей;

- особенности геополитического пространства;

- текущего состояния международных отношений;

- возможности преодоления контрольных фильтров ряда международных организаций (например, МАГАТЭ, касательно ядерно-энергетических минеральных ресурсов и др.).

В конечном счете задача решается через комплекс мероприятий по формированию и надежному функционированию выбранных источников поставок СМР, как наиболее приемлемых на данный период времени. По своему назначению речь должна идти, главным образом, о следующих объектах потребления государства: а) обозначенных в качестве стратегически важных сфер потребления, б) обозначенных в качестве Госрезерва на случай кризисных ситуаций, в) обозначенных на определенную перспективу развития.

В случае, если источником формирования СМР является *собственная природная среда*, то мероприятия по их созданию, воспроизводству и развития будут напрямую связаны с особенностями функционирования действующей в стране системы недропользования. Из государственного фонда выявленных и разведанных минерально-сырьевых объектов, охватываемых лицензионными мероприятиями, в приоритетном порядке должны учитываться и браться под контроль месторождения, полезные компоненты которых отвечают принятому «Перечню СВПИ». С другой стороны, здесь подразумевается проведение эффективной экономической политики, основанной на балансе интересов как государства, так и частного инвестора [1, 3, 7 и др.].

Вместе с тем, из поля зрения государства не должны выпадать мероприятия по направленному изучению геологического пространства в целом как вероятного источника не только обозначенных, но и новых видов полезных ископаемых стратегического значения [1-3, 8 и др.].

Если потребление СМР формируется *на базе зарубежных поставок*, то мероприятия по определению источника, возможности доступа и бесперебойности поставок предваряются анализом состояния глобальной рудной базы, конъюнктуры сырьевого рынка, рисков геополитического характера и др. В значительной мере эти вопросы охватываются понятиями и терминами «*критические минералы*», «*критические минеральные*

ресурсы» (КМР), за которыми стоит разработанная в последнее время в странах Запада методика оценки так называемой «критичности» минерального сырья [4, 14-18 и др.]. В упрощенном варианте эта методика использует два ключевых измерения («риск предложения» и «уязвимость к ограничению поставок»), каждое из которых включает в себя ряд соответствующих параметров. После несложных аналитических манипуляций суммарные средневзвешенные результаты представляются в виде диаграммы, называемой «матрицей критичности», где в наглядной форме позиционируются выбранные для анализа виды минерального сырья относительно поля критичности.

Анализ показывает, что такому исследованию, как правило, подвергаются наиболее важные виды минеральных ресурсов для экономики, военного назначения и др., которые, с нашей точки зрения, относятся к разряду «стратегических». Таким образом, категория критических минеральных ресурсов (КМР) является ничем иным как дефицитной частью СМР, характеризующейся дополнительно со стороны «риска предложения» зарубежных источников и степени уязвимости от возможных ограничений поставок анализируемой сферы потребления государства.

Причина появления этой категории минеральных ресурсов кроется в практически полном отсутствии (или истощении), преимущественно у стран «западного общества», источников важнейших для развитых секторов экономики и ВПК видов минерального сырья, с одной стороны, и в неустойчивости сырьевых рынков, часто отражающих слабую предсказуемость политических режимов стран-обладателей такого рода минеральных ресурсов, – с другой. Негативный фон добавляет тот факт, что монопольными производителями ряда дефицитного сырья являются небольшие группы стран или даже отдельные страны: Как реакция на эту опасную ситуацию, в последние 15-20 лет в ряде стран-импортеров были заказаны исследования и сделаны разработки по совершенствованию минерально-сырьевой политики. Были также организованы и проведены конференции с обсуждением этой проблемы, что в обстановке объективной заинтересованности послужило определенной кристаллизацией термина КМР и разработке методики определения «критичности» этой категории минеральных ресурсов.

Мероприятия по созданию минерально-сырьевой части Госрезерва характеризуются прежде всего тем, что в этом случае источники СМР формируются с наибольшей степенью готовности к реализации: (1) хранилища и складские запасы и (или) (2) части обраба-

тываемых месторождений, резервные месторождения, полностью подготовленные к отработке. Это диктуется необходимостью быстрой реакции на вероятные чрезвычайные ситуации, где первостепенным фактором выступает время.

Завершая анализ *второй задачи*, следует обратить внимание на тот момент, что она функционально является непосредственным продолжением *первой*, где главным итоговым документом является «Перечень СВПИ». Резонно предположить, что необходимость в подобном документе существует и здесь. Представляется, что он должен включать в себя все значимые для государства источники СМР с разделением их на «внутренние» (собственные) и «внешние» (зарубежные). Последние должны иметь обозначение на «степень критичности». Вероятно, подобные наработки, связанные с формированием такого документа («Перечень СМР»), будут иметь не только организационно-управленческое, но и коммерческое значение.

Важно подчеркнуть, что основное назначение рассматриваемой задачи – разработка мероприятий и различных средств, направленных на эффективное обеспечение потребностей государства в СМР. Роль государства здесь – не подмена подобных функций объектов потребления, а создание благоприятных условий для решения минерально-сырьевой проблемы в целом.

*Третья задача* соотносится с необходимостью проведения любых значимых мероприятий современного государства в рамках «правового поля» [3, 7, 9 и др.], в связи с чем деятельность по формированию специализированного нормативно-правового блока документов, определяющего приоритетный статус СМР в области проводимой государством минерально-сырьевой политики, не должна вызывать сомнений. Безусловно, какие-либо нормативно-законодательные наработки на эту тему существуют, вероятно, в каждом государстве. В данном случае речь идет о юридической полноте базовых документов, касающихся статуса СМР применительно к условиям конкретного государства.

*Четвертая задача* ставит своей целью формирование координационного центра по решению проблемы минеральных ресурсов. Анализ комплекса вопросов и проводимых в этом направлении мероприятий показывает, что по факту они часто выполняются разрозненными подразделениями государственного управления. Вместе с тем, проблема минеральных ресурсов ставит ряд принципиальных задач, решение которых взаимобусловлено и организационно предпочтительно под единым началом. С другой стороны, следует подчеркнуть вспомогательную роль такого «Центра», определяя



его функции в качестве необходимого организационно-управленческого инструмента для подготовки эффективных решений, которые в окончательном виде принимаются на значительно более высоком административном уровне. В этом смысле положительный пример, вероятно, показывают США, где эти функции выполняет структура, подчиненная непосредственно администрации президента [7].

Анализ показывает, что охарактеризованные выше «мероприятия-задачи» выступают как элементы определенной общности, связующим компонентом которой является понятие «стратегичность». По представлениям авторов, функциональное назначение такого единства «мероприятий-задач» – быть базовым инструментом эффективности в сфере минерально-сырьевой деятельности. С общих методологических позиций, этот, сформированный на принципе приоритетности, ведущий фактор минерально-сырьевой политики можно рассматривать как систему, где каждый из выше обозначенных видов «мероприятий-задач» проявляется как безальтернативный элемент этой системы, вносящий свой специфический вклад в формирование ее основного эмерджентного свойства – формирование базовой обстановки (условий) эффективности минерально-сырьевой политики государства.

**Выводы.** В заключение следует отметить, что, судя по всему, мы имеем здесь дело с весьма сложным предметом исследования, где оптимальное решение проблемы может быть найдено только в результате комплексного учета ряда изменчивых факторов. Это, в частности, подчеркивается тем, что наряду с сугубо геологическими дисциплинами здесь сопрягается ряд других наук: политика (геополитика), экономика, социология, праксеология и др. Следует констатировать, что условия функционирования государств практически неповторимы в своем разнообразии, и, вероятно, именно этим обстоятельством можно объяснить тот факт, что в этой области пока превалирует эмпирический подход, где опыт таких стран, как США, СССР-Россия и некоторые другие, признается весьма поучительным и востребованным. С другой стороны, недостаточная проработка проблемы в теоретическом плане, видимо, негативно сказывается на проведении минерально-сырьевой политики тех стран, которые еще не имеют здесь собственных исследовательских наработок и опыта. По всей видимости, ряд неопределенностей, присутствующих в таких компонентах рассматриваемой проблемы, как «понятие СМР», «критерии выделения СВПИ», «состав и структура Госрезерва», «правовой статус СМР» и

др., отягощает принимаемые решения в этой области. Представляется, что подобного рода теоретические наработки могут в определенной мере удовлетворить научный запрос в рассматриваемой сфере деятельности и составить, в конечном счете, научную основу для создания полноценной концепции минерально-сырьевой политики.

#### Литература

1. Бежанова М.П., Бежанов С.К. Минеральные ресурсы Мира и экономический механизм управления минерально-сырьевым сектором. М: ООО «Геоинформмарк», 2007. 384 с.
2. Галецкий Л.С., Чернієнко Н.М. Надання особливого державного статусу стратегічним мінеральним ресурсам України для забезпечення її економічної та оборонної безпеки. Матеріали Третьої міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (4-7 жовтня 2016 р., м. Трускавець). К.: ДКЗ, 2016. С. 44-50.
3. Гурський Д.С. Концептуальні засоби державної мінерально-сировинної політики щодо використання стратегічно важливих для економіки країни корисних копалин. – Львів: ЗУКЦ, 2008. 192 с.
4. Еремін Н.И. Стратегическое и дефицитное минеральное сырье. Ежегодная научная конференция «Ломоносовские чтения» 2011 года. Секция Геология, Тез. докл. М.: МГУ. 2011. Available at: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1186049&uri=eremin.html>
5. Калинин Е.П. Минерально-сырьевые ресурсы в мировой экономике. Вестник Кольского научного центра РАН – 2008 №4. С.13-19.
6. Котарбинский Т. Трактат о хорошей работе. М.: «Экономика», 1975. 271 с.
7. Кривцов А.И., Беневольский Б.И., Блинова Е.В. Принципы и критерии отнесения месторождений твердых полезных ископаемых к стратегическим – США и Россия. Отечественная геология, 2007, №3. – С. 57-63.
8. Кулиш Е.А., Сорокин А.П., Яценко В.Г. Стратегические минеральные ресурсы Украины и Дальнего Востока России. К: ЛОГОС, 2009. 77 с.
9. Нормативно-правове регулювання надрокористування / Г. І. Рудько, О. П. Миргородський, М. М. Курило, О. А. Лагода. К.: Гіперіон, 2012. 254 с.
10. Рудько Г.І. Землелогія. Еколого-ресурсна безпека Землі., Г.І. Рудько, О.М. Адаменко. К: Академпрес, 2009. 512 с.
11. Стратегические виды полезных ископаемых России и их государственные резервы, В. П. Якуцени, Б. И. Беневольский, А. И. Кривцов Санкт-Петербург : ВНИГРИ, 2007. 230 с.
12. Яценко В.Г., Земсков Г.О. Стратегічні мінеральні ресурси: сутність, призначення, головні завдання. Матеріали Четвертої міжнародної науково-практичної конференції (6–10 листопада 2017 р., м. Трускавець): у 2 т.. К.: ДКЗ, 2017. – Т.1. С. 24-30.

13. Яценко В.Г., Земсков Г.О. Виділення і структуризація стратегічних видів корисних копалин, Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції (8-12 жовтня 2018 р., м. Трускавець): у 2 т. К.: ДКЗ, 2018, Т.1. С. 249-254.

14. Яценко В.Г., Земсков Г.О. «Стратегічні» і «критичні» мінеральні ресурси: концептуальний підхід. Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (7- 11 жовтня 2019 р., м. Трускавець): у 2 т. К.: ДКЗ, 2019. Т.1. С. 61-66.

15. Graedel T.E. et.al (2012). *Methodology of Metal Criticality Determination*. Environ. Sci. Technol. Vol. 46. № 2. С. 1063–1070.

16. Haglund D.G. (1984) *Strategic minerals: A conceptual analysis*. Resour. Policy. Vol. 10, № 3. P. 146–152.

17. Simandl G.J., Akam C., Paradis S. (2015) *Which materials are 'critical' and 'strategic'.* Symposium on critical and strategic materials. British Columbia Geological Survey Paper 2015-3 Available at: [http://cmscontent.nrs.gov.bc.ca/geoscience/PublicationCatalogue/Paper/BCGS\\_P2015-03-01\\_Simandl.pdf](http://cmscontent.nrs.gov.bc.ca/geoscience/PublicationCatalogue/Paper/BCGS_P2015-03-01_Simandl.pdf)

18. Coulomb, R., et al. (2015), "*Critical Minerals Today and in 2030: An Analysis for OECD Countries*", *OECD Environment Working Papers*, No. 91, OECD Publishing, Paris, [Electronic resource]: [http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/11/OECD\\_minerals\\_paper\\_Coulomb\\_et\\_al.pdf](http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/11/OECD_minerals_paper_Coulomb_et_al.pdf)

## References

1. Bezhanova M.P., Bezhanov S.K. (2007), M: TOV «Heoinformmark». 384 p.

2. Haletski L.S., Cherniyenko N.M. (2016), *Materialy Tretoyi mizhnarodnoyi naukovo- praktychnoyi konferentsyy «nadrokorystuvannya v Ukrayini. Perspektyvy investuvannya»* (4-7 zhovtnya 2016 r., M. Truskavets). K.: DKZ. P. 44-50.

3. Hursky D.S. (2008), Lviv: ZUKTS, 192 p.

4. Yeromin N.I. *Stratehichne i defitsytne mineralna syrovyna* (2011), Available at: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1186049&uri=eremin.html>

5. Kalinin YE.P. (2008), *Visnyk Kolskoho naukovoho tsentru RAN*, №4. P.13-19.

8. Kotarbinsky T. *Traktat pro khoroshu robotu* (1975) – M.: «Ekonomika»,. 271p.

7. Kryvtsov A.I., Benevol'skiy B.I., Blinova YE.V. (2007). *Vitchyznyana heolohiya*. №3. pp. 57-63.

8. Kulish O.O., Sorokin A.P., Yatsenko V.G. (2009). K: LOHOS, 77 p.

9. Normatyvno-pravove rehulyuvannya nadrokorystuvannya (2012), H. I. Rudko, O. P. Myrhorodskyy, M. M. Kurylo, O. A. Lahoda. K.: Hiperion. 254 p

10. Rudko H.I. *Zemlelohiya*. (2009), K: Akadempres. 512 p.

11. V. P. Yakutseny, B. I. Benevol'skiy, A. I. Kryvtsov (2007), *Sankt-Peterburh: VNYHRY*. 230 p.

12. Yatsenko V.H., Zemskov G.O. (2017). K.: DKZ, 2017. T.1. pp. 24-30.

13. Yatsenko V.G., Zemskov G.O. (2018). K.: DKZ. T.1. pp. 249-254.

14. Yatsenko V.G., Zemskov G.O. (2019). K.: DKZ. T.1. pp. 61-66.

15. Graedel T.E. et.al (2012). *Environ. Sci. Technol.* Vol. 46. № 2. pp. 1063–1070.

16. Haglund D.G. (1984), *Resour. Policy*. Vol. 10, № 3. pp. 146–152.

17. Simandl G.J., Akam C., Paradis S. (2015) Available at: [http://cmscontent.nrs.gov.bc.ca/geoscience/PublicationCatalogue/Paper/BCGS\\_P2015-03-01\\_Simandl.pdf](http://cmscontent.nrs.gov.bc.ca/geoscience/PublicationCatalogue/Paper/BCGS_P2015-03-01_Simandl.pdf)

18. Coulomb, R., et al. (2015), *OECD Environment Working Papers*, No. 91, OECD Publishing, Paris, Available at: [http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/11/OECD\\_minerals\\_paper\\_Coulomb\\_et\\_al.pdf](http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/11/OECD_minerals_paper_Coulomb_et_al.pdf)

## «СТРАТЕГІЧНІ МІНЕРАЛЬНІ РЕСУРСИ» – ПРОВІДНИЙ ФАКТОР МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННОЇ ПОЛІТИКИ.

**Яценко В.Г.**, канд. геол.-мін.наук, зав. лаб., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-8113-5702>, [vyatsenko@gmail.com](mailto:vyatsenko@gmail.com),

**Земсков Г.О.** н.с., ГУ ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-7445-5329>

На тлі концептуального підходу до мінерально-сировинної проблеми в цілому у статті характеризується поняття «стратегічні мінеральні ресурси» в аспекті провідного фактора мінерально-сировинної політики на рівні держави. Розкривається сутність цієї категорії мінеральних ресурсів і її стрижнева позиція в загальній схемі вирішення проблеми. Підкреслюється, що проблема мінеральних-ресурсів зумовлюється постійно діючим протиріччям між життєво важливою необхідністю систематичного споживання Людиною (співтовариством, державою) мінеральних ресурсів і обмежувальним характером доступу до них. Об'єкт вивчення формується авторами роботи як «Мінерально-сировинна політика держави», а предмет дослідження - «Стратегічні мінеральні ресурси як найбільш значуща частина споживаних мінеральних ресурсів держави, що розглядається в якості провідного чинника мінерально-сировинної політики». Розгляд мінерально-сировинної політики на прикладі ряду країн (США, Китай, Росія, країни Євросоюзу, Канада, Японія та ін.) показує, що, хоча кожна з них унікальна в цьому сенсі і має свої пріоритети, тут проявляються, разом з тим, деякі риси подібності в розумінні цієї проблеми і способів її вирішення. Звідси виникає ряд положень, аналіз яких дозволяє констатувати, що вони являють собою виявлені в процесі практичної діяльності найбільші елементи ефективності («інструменти»), мінерально-сировинної політики розвинених держав. Дослідження показують, що «вирішальну ланку» тут формують положення, пов'язані з позначенням «стратегічність» стосовно до певних видів мінеральної сировини, а також їх «критичність» в аспекті «ризиків пропозицій» і «уразливості від обмеження поставок» із зарубіжних джерел. Таким чином, спираючись на ці емпіричні висновки, видається можливим позначити «стратегічну лінію» і головні кроки у вирішенні мінерально-сировинної проблеми. Вирішальне значення при

цьому, як вважають автори, має коректне наділення «стратегічним» статусом найбільш важливої частини споживаних державою мінеральних ресурсів, що дозволяє створити на цій основі високоранговий інструмент мінерально-сировинної політики.

**Ключові слова:** стратегічні мінеральні ресурси, критичні мінеральні ресурси, мінерально-сировинна політика.

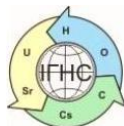
## "STRATEGIC MINERAL RESOURCES" - THE LEADING FACTOR OF MINERAL RESOURCES POLICY.

**Yatsenko V.G.**, Ph.D. (Geol), Leading Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-8113-5702>, [vyatsenko@gmail.com](mailto:vyatsenko@gmail.com)

**Zemskov G.A.**, Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

*Against the background of the conceptual approach to the mineral resource problem, the concept of "strategic mineral resources" is generally characterized in terms of the leading factor in the mineral resource policy at the State level. The essence of this category of mineral resources and its pivotal position in the general scheme for solving the problem are revealed. It is emphasized that the problem of mineral resources is predetermined by a constantly existing contradiction between the vital necessity of the systematic consumption of mineral resources by a Human (community, state) and the restrictive access to them. The object of study is formulated by the authors of the work as the "Mineral Resource Policy of the State", and the subject of the study is "Strategic Mineral Resources as the most significant part of the consumed mineral resources of the nation, considered as the leading factor in the mineral resource policy". Consideration of the mineral resource policy on the example of a number of countries (USA, China, Russia, EU countries, Canada, Japan, etc.) shows that, although each of them is unique in this sense and has its own priorities, there are, at the same time, some similarities in understanding this problem and the ways to solve it. Herein lies a number of provisions, the analysis of which allows us to state that they represent the largest elements of efficiency ("tools") of the mineral resource policy of the "advanced" States which were developed in the process of practical activity. The studies show that the "decisive link" here is formed by the provisions related to the notion "strategic" in respect of certain types of mineral raw materials, as well as their "criticality" in terms of "supply risk" and "vulnerability from limited supply" from foreign sources. Thus, based on these empirical conclusions, it is possible to designate a "strategic line" and the main steps in solving the mineral resource problem. The decisive factor in this case, as the authors believe, is the correct allocation of the "strategic" status to the most important part of the mineral resources consumed by the nation, which allows us to create on this basis a high-ranking instrument of mineral resources policy.*

**Key words:** strategic mineral resources, critical mineral resources, mineral resources policy



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.100>  
УДК 504.03 + 620.9

## Шкапенко В.В., Бужук Л.О., Жолуденко О.О., Литвиненко Ю.В., Фоміна Т.В., Вашенко Н.М., Желяк О.Д

**Шкапенко В.В.** к.геол.н., завідувач лабораторії ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»,  
<https://orcid.org/0000-0002-0760-2907>

**Бужук Л.О.** к.геол.н., с.н.с ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», [l.a.buzhuk@gmail.com](mailto:l.a.buzhuk@gmail.com)

**Жолуденко О.О.** к.геол.н., с.н.с ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»,

**Литвиненко Ю.В.** к.т.н., учений секретар ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»,  
[yu.lytvynenko@ukr.net](mailto:yu.lytvynenko@ukr.net)

**Фоміна Т.В.** інженер ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»

**Вашенко Н.М.** провідний інженер ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», [sotama@ukr.net](mailto:sotama@ukr.net)

**Желяк О.Д.** м.н.с ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», [zhelak@ukr.net](mailto:zhelak@ukr.net)

### ОБҐРУНТУВАННЯ ПОРОГОВИХ ЗНАЧЕНЬ ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОД Р. ПІВДЕННИЙ БУГ ЗГІДНО ВОДНОЇ РАМКОВОЇ ДИРЕКТИВИ ЄС

За результатами моніторингових досліджень ріки Південний Буг 2016 – 2019 рр. у літньо-осінній меженевий період вище та нижче Олександрівського водосховища для 19 гідрохімічних показників якості води вперше на деталізаційному рівні обґрунтовано порогові значення. Нашим дослідженням показано низьку інформативність середньоарифметичних значень показників та необхідність урахування розподілів величин для визначення порогових концентрацій. Методичний підхід полягає в детальному розгляді параметрів розподілів показників та визначенні порогових значень, які стануть основою уточнюючого віднесення вод до класів забруднення згідно рекомендаціям ЄС. Пріоритетними показниками є хімічне споживання кисню, вмісти фосфатів, нітратів, нітритів, хлоридів, сульфатів, калію, феруму, мангану та мінералізація. Уточнено референційні значення для таких показників, мг/дм<sup>3</sup>: мінералізація –  $\leq 870$ , натрій  $\leq 140$ , калій  $\leq 12,0$ , ферум  $\leq 0,20$ , манган  $0,05-0,08$ . Відповідно до загальної стратегії Водної рамкової директиви ЄС та Водного кодексу України встановлені нормативи повинні сприяти усуненню причин погіршення якості поверхневих вод. Дискусійним є питання щодо встановлення порогових значень та референційних інтервалів за хлоридами і фосфатами. Якщо за хлорид-іоном у межах норми знаходиться до половини спостережених вмістів, то за фосфатами у половині пунктів по всій дослідженій протяжності течії р. Пд Буг вмісти  $PO_4$  на 35 % перевищують норматив. Невідомо, чи досяжним є рекомендований норматив  $0,52$  мг/дм<sup>3</sup>. Загалом спроможність Олександрівського водосховища до самоочищення на сьогодні не є задовільною. Отримані результати виявляють гідрохімічну специфіку різних частин досліджених водних тіл. Вони застосовні для подальших динамічних спостережень, моделювання та системного аналізу з класифікаційною й прогностичною метою. Встановлені референційні значення можуть бути використані для дослідження валідності тих чи інших класифікацій оцінки забруднення. Установам, що виконують моніторинг водних тіл різних типів, рекомендується використовувати для обґрунтування референційних і порогових значень гідрохімічних показників первинні дані вже напрацьованих результатів моніторингу та інтегрувати їх у сучасні бази даних.

**Ключові слова:** Водна рамкова директива ЄС, гідрохімічні параметри, порогові значення, референційні значення, моніторинг вод, водне тіло.

**Вступ.** У 2014 р. Україною підписано Графік досягнення цілей по Водній рамковій Директиві (ВРД) ЄС. 4 жовтня 2016 р. прийнято Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» № 1641- VIII), розпочалося впровадження положень Директиви 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтова-

рства у сфері водної політики» від 23 жовтня 2000 року [1] у Водний кодекс України і, відповідно, у практику управління водними ресурсами. План досягнення цілей по ВРД ЄС в Україні містить такі заходи [2]:

У 2017 – 2018 на законодавчому рівні закріплено визначення одиниці гідрографічного районування території України та розроблено Положення про басейнове управління [3]. У 2020 році заплановано закінчити районування річкових

басейнів та відпрацювати механізми управління міжнародними річками, озерами й прибережними водами. На 2024 рік мають бути підготовлені плани управління басейнами річок, проведення консультацій з громадськістю та публікація цих планів. В процесі імплементації ВРД оцінка якості поверхневих вод за гідрохімічними показниками відбувається в другу чергу. У 2017 р. на виконання статті 21 нової редакції Водного кодексу України (від 04.10.2016) затверджено новий Порядок здійснення державного моніторингу біологічних, гідроморфологічних, хімічних та фізико-хімічних показників [4].

На сьогодні по всіх великих ріках України виконано класифікування водних тіл згідно ВРД та оцінку еколого-біологічних і деяких гідрохімічних показників. Зібрано матеріали раніш проведених моніторингових досліджень та виконано нові за основними пунктами моніторингу. Українськими авторами вказується низька інтерпретабельність раніш виконаних досліджень через неналежне узагальнення, не завжди відповідний рівень аналітичних вимірів, неповні вихідні дані, надмірне усереднення, відсутність повторюваності під час ранжування водних тіл на класи тощо. За інформацією комісії ЄС (2007) [5], в Україні було недостатньо даних для класифікування вод за якістю відповідно до ВРД. Тепер стан справ дещо кращий, однак цього недостатньо для належного оцінювання вод за будь-якою систематикою.

Таким чином, відкритим питанням є надійне обґрунтування порогових значень показників якості води з подальшим присвоєнням водному тілу того чи іншого класу якості.

**Існуючі методичні підходи до класифікування вод за якістю. Гідрохімічний статус водного тіла.** Як пояснюють автори перших досліджень рік та водосховищ України згідно ВРД ЄС [2], хімічний статус водного тіла визначається за вмістом пріоритетних забруднювальних речовин. Це важкі метали (кадмій, плумбум, нікель, меркурій, перелік може змінюватись залежно від специфіки об'єкта моніторингу) та органічні речовини, що є токсичними для живих організмів. Усього до переліку пріоритетних на сьогодні віднесено 45 забруднювальних речовин: 33 – Директивою 2008/105/ЄС про екологічні стандарти у сфері водної політики та 15 – Директивою 2013/39/ЄС3, що вносить зміни до ВРД та Директив 2008/105/ЄС про пріоритетні речовини і Директивою Ради 91/676/ЄЕС (1991) «Про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел».

Класи якості поверхневих, питних і підземних вод зазвичай рівномірно охоплюють діапазони вимірювань, що виправдано для нормально розподілених величин. У п'яти або семи рівневих класифікаціях гідрохімічні дані усереднюються та сумуються з іншими показниками, іноді із використанням вагових оцінок [6]. Без дослідження зв'язків між різними групами показників ці класи не презентують внеску кожної речовини та можуть мати різну «чутливість» до зміни складу води.

Гідрохімічний статус входить п'ятим блоком до системи біологічних, екологічних та деяких гідрохімічних показників *River Quality and Biodiversity Assessment (RQBA)* та оцінюється разом із ними за 5-бальною шкалою, як і в [6]: 1 – відмінний, 2 – добрий, 3 – задовільний, 4 – поганий і 5 – дуже поганий. За Директивою про ґрунтові води [7], гідрохімічний статус характеризується лише за двома класами – «Добрий» та «Неспроможний досягнути доброго». Такий начебто дуже простий поділ базується на точно визначених порогових значеннях усіх необхідних пріоритетних речовин і є практичним для оперативного моніторингу вмістів забруднювачів.

**Попередні дослідження водних тіл басейну р. Південний Буг.** В басейні р. Південний Буг *періоді регіональних дослідження згідно ВРД ЄС* у 2010-2013 рр. проведено Інститутом гідробіології НАНУ з використанням усіх наявних даних Гідрометеослужби та різних галузевих установ. Метою було визначити першочергові для моніторингу природні, істотно змінені та штучні водні тіла. Південний Буг було охоплено по всій його протяжності від Хмельницького до Миколаєва. Проаналізовано біологічні дескриптори, а також вмісти загального азоту й фосфору в межах 15 водних тіл [8]. У зоні впливу Південноукраїнського енергетичного комплексу (ПУЕК) було зібрано дані по двох постійних водопунктах моніторингової мережі Гідрометеослужби – верхній нижче м. Первомайськ (вище ПУЕК, код водного тіла *ua\_pdb\_11*) і нижній за смт. Олександрівка (нижче греблі Олександрівського водосховища та Олександрівської ГЕС, *ua\_pdb\_13*) та верхній б'єф греблі Олександрівського водосховища, питний водозабір м. Южноукраїнськ, *ua\_pdb\_12*. Визначення вмісту азоту й фосфору виконано лише у пунктах *ua\_pdb\_12* і *ua\_pdb\_13*. Поділ на класи здійснювався від межі аналітичних визначень рівномірно по всьому діапазоні значень, розподіли величин не розглядалися. Авторами [8, 9] здійснено систематизацію Директив ЄС щодо загальних визначень водних тіл, визначення класів забруднення вод, Директиви про нітрати. Надано вичерпний перелік рекомендованих аналітичних методів визначення речовин, порівняно пріоритетні речовини за діючим в Україні стандартами.

Наведені дослідження здійснено на регіональному рівні, оперативним моніторингом встановлено лише орієнтовні особливості для всієї р. Південний Буг, зокрема забруднення фосфатами. Авторами констатується часто недостовірний рівень визначень за елементами та сполуками від різних установ.

Далі на етапі дослідницького моніторингу актуальним є чіткіше розділення поверхневих вод на класи за якістю в межах конкретних ділянок та встановлення причин забруднення.

В роботі [10] детально порівняно діючі в Україні стандарти щодо питних вод та вод господарського призначення, українські й зарубіжні. Наголошується на важливості застосування деталізаційних досліджень та врахування специфіки об'єкта

моніторингу для отримання надійніших референційних значень.

**Комплексний моніторинг ДУ «ІГНС НАН України».** ДУ «ІГНС НАН України» з 2000х років виконує комплексний гідрохімічний, радіоекологічний, інженерно-геологічний моніторинг впливу Ташлицької ГАЕС та Олександрівського водосховища на воду р. Південний Буг. Зокрема, в узагальненні багаторічної динаміки фізико-хімічних і хімічних показників використано власні дослідження та дані моніторингу, що проводять підрозділи Гідрометеослужби України за останні сорок років (Жолуденко, Герцюк, 2010, та ін.).

Середньобагаторічні значення мінералізації, хлоридів, сульфатів, катіонів та інших головних іонів за інтервали 1980 – 1990, 1990 – 1997, 1998 – 2008 [11], 2009 – 2014 [12] майже не виходять за межі нормативів та мають тенденцію послідовно збільшуватись. Ці вмісти суттєво не відрізнялись у двох головних пунктах спостережень – на водопосту м. Первомайськ вище зони впливу Ташлицької ГАЕС (ТГАЕС) та нижнього водопосту смт. Олександрівка. Багаторічні узагальнення за середньоарифметичними значеннями доводять, що збільшення потужностей Южноукраїнської АЕС (ЮУ АЕС), роботи ТГАЕС та підняття рівня води в Олександрівському водосховищі до відмітки 16,9 м не сприяли погіршенню хімічних показників якості води р. Південний Буг, зокрема мінералізації, вмістів сульфатів, хлоридів, натрію, калію, магнію.

Із цих вмістів була спроба згенерувати орієнтовні референційні значення для досліджених водних тіл, однак роботи у зазначені багаторічні проміжки за окремими пунктами (загальна кількість до 17) виконувались різними установами та не завжди можливо було отримати первинні, не усереднені дані. Для представницької статистики бракувало даних однотипних вимірювань.

Багаторічні спостереження включали всі гідрохімічні показники санітарного стану води – амонійний азот, нітрати, нітри-ти, фосфати, хімічне та біохімічне споживання кисню тощо, які дають уявлення про вплив різноманітної господарської діяльності на якість води. Довгоперіодні зміни макрокомпонентів вод, сапробіологічних показників та важких металів за даними ІГБ НАНУ та ДУ «ІГНС НАН України» за усередненими даними свідчили про здатність Ташлицького й Олександрівського водосховищ до самоочищення. Джерелами забруднень, не пов'язаних з ЮУ АЕС, є численні сільськогосподарські об'єкти, побудові скиди, нафтопродукти з переробних підприємств тощо.

З 2016 року всі аналітичні визначення виконано в лабораторіях ДУ «ІГНС НАН України» за актуальними стандартними методиками, це дозволило отримати дані достатньої достовірності для обґрунтування фону більшості фізико-хімічних та хімічних показників якості вод.

**Метою** нашого дослідження є встановлення порогових значень гідрохімічних показників якості вод на території впливу ПУЕК для Олександрівського водосховища та ріки Південний Буг вище та нижче водосховища, враховуючи особливості розподілів показників. Ці значення будуть використані для вирішення завдань деталізаційного моніторингу за стандартами ВРД ЄС.

**Об'єкт і методи досліджень.** Всі водні тіла багаторічного моніторингу зони впливу Ташлицької ГАЕС (ТГАЕС) і Олександрівського водосховища (ОВ) займають територію місцевого водозбору р. Південний Буг на відстані від південної околиці м. Южноукраїнськ до нижнього б'єфу греблі Олександрівської ГЕС (ОГЕС). Ця територія чинить найбільший вплив на каскад гідроелектростанцій та сама перебуває під впливом водосховищ (зони затоплення, підтоплення, переформування берегів і т.д.). За останнім узагальненням 2017 р. [13], гідрохімічними параметрами-індикаторами впливу ТГАЕС є мінералізація, рН, вмісти хлоридів, сульфатів, і відповідно натрію й магнію, вміст калію є індикатором впливу скидання вод з ТГАЕС. Супутнім результатом моніторингу ІГНС НАНУ була оцінка більшості стандартних показників соляного складу, трофо-сапробіологічних показників (сполуки азоту, фосфати, купрум, хімічне та біохімічне споживання кисню та ін.), специфічних речовин токсичної дії (метали, нафтопродукти, СПАР, феноли) поверхневих та підземних вод басейну р. Південний Буг.

У цій статті ми презентуємо розподіли макро- і мікрокомпонентів, мінералізації і рН, виміряних у літні меженеві періоди 2016 – 2019 років у р. Південний Буг вище та нижче Олександрівських водосховища та ГЕС, з урахуванням впливу солонуватих вод Ташлицької водойми охолоджувача (ТВО), Ташлицької ГАЕС і Бакшалинського водосховища. Загалом досліджено 21 гідрохімічний показник у 9 – 12 пунктах спостережень на 41 км вниз по течії р. Південний Буг від верхів'я ТГАЕС до нижнього б'єфу греблі ОГЕС (табл. 1, рис. 1).

Усі показники вимірювались Лабораторією оцінки параметрів якості довкілля ІГНС НАНУ за діючими міжнародними стандартами (ISO). Апаратура – портативний рН-метр Hach SensIon-3, портативний кондуктометр Hach SensIon-5. Спектрофотометром Hach Lange DR 2800 визначено вмісти важких металів, нітратів, нітри-тів, амонійного азоту, ортофосфатів і сульфатів (Т. Фоміна, Н. Ващенко, О. Желяк). Натрій і калій визначались фотометром полум'я. Важкі метали та в окремих пробах натрій і калій визначено атомно-абсорбційним методом (С. Кузенко). Достовірність польових та лабораторних визначень мінералізації та співвідношення аніонів і катіонів оцінювалась за нормами [14]. Відносні похибки визначення елементів і сполук не перевищували 10 – 12 %.

Статистичну обробку виконано за двома масивами гідрохімічних даних – Масивом В з проб р. Пд Буг вище ОВ та Масивом Н нижче ОВ (див. табл. 1).

У директиві щодо ґрунтових вод 2016 року [7] особливий акцент зроблено на ідентифікування стійких тенденцій до зростання забруднення та їх виправлення. Загальною рекомендацією є використовувати 75 % квантиль від проаналізованих вмістів (або від затверджених нормативів) як порогове значення погіршення якості вод. Очевидно, слід враховувати особливості розподілів величин, це у світовій практиці є стандартом «за замовчуванням».

Цей рекомендований поріг може бути адаптований відповідно до місцевих обставин, що виправдовує різне значення відсотка. Такі підходи широко застосовуються [15]. Базово для водних об'єктів розглянуті в [16].

Методичний підхід до встановлення порогових і референційних значень полягає в детальному розгляді параметрів розподілів показників та точному визначенні порогового значення. Застосовність такого підходу демонструємо у цій публікації для водних тіл р. Південний Буг та Олександрівського водосховища за період 2016-2019 рр. в літньо-осінню межень.

Як буде показано детально далі, всі розподіли вимірних величин полімодальні. Відповідно, щоб визначити, які значення вважати пороговими, а діапазони – референційними, недостатньо лише таблиці статистичних характеристик. Інтервальна гістограма показників (для вирішення нашого завдання кількість інтервалів була близькою до кількості спостережень, щоб відобразити всі особливості розподілу) є доброю візуалізацією, але не дозволяє визначити порогове значення з належною точністю. Чіткі межі інтервалів величин після медіанного значення, де відбувається їх значуще підвищення, можна оперативно візуально визначити за кумулятивними гістограмами (рис. 2), однак за ними складно порівнювати особливості розподілів значень показників.

Табл. 1. Пункти спостережень

Table 1. Observation points

Пункт,мас в	Роки	Локація
1; В	2017-2019	Течія р. Пд Буг вище контакту з водами ТГАЕС
2; В	2017-2019	Верхня частина ТВО
5; В	2016, 2018, 2019	Нижній б'єф греблі ТГАЕС
8; В	2016, 2017	Верхня частина ОВ
9; Н	2016	Гирло р. Бакшала – р. Пд Буг
12; Н	2016-2019	Середя частина ОВ
13; Н	2016, 2019	Верхній б'єф греблі ОГЕС
14; Н	2016, 2017, 2019	Нижній б'єф греблі ОГЕС

На рисунку 3 наведено приклад ненадійності застосування середньоарифметичних значень порівняно з медіаною на прикладі гістограми вмістів хлорид-іону. Тобто надмірно екстремальні значення спотворюють середнє, але одне таке значення у нашій вибірці з 12 проб ніяк не вплинуло на медіану.

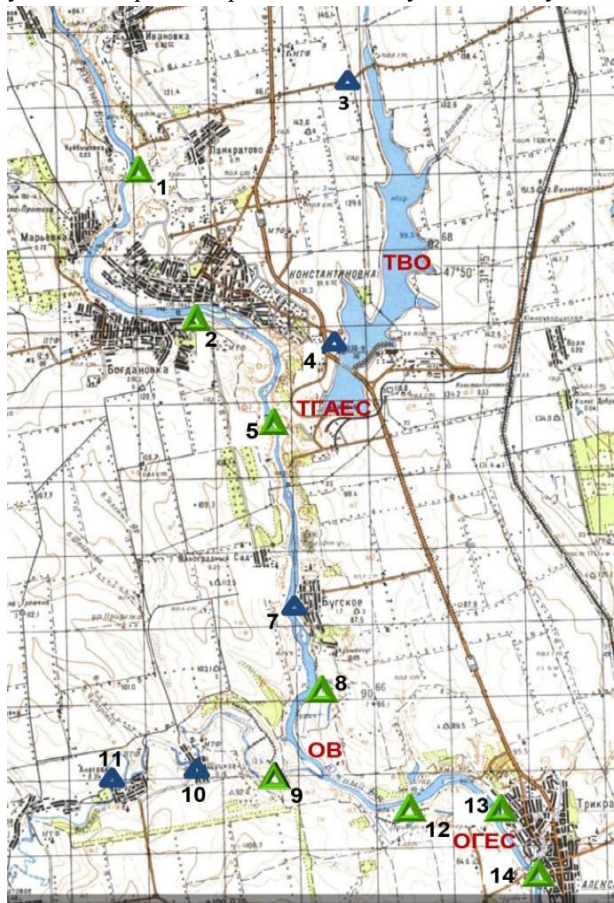


Рис. 1. Схема пунктів спостережень. Більші за розміром (1, 2, 5, 8, 9, 12, 13, 14) – опрацьовані в статті пункти спостережень.

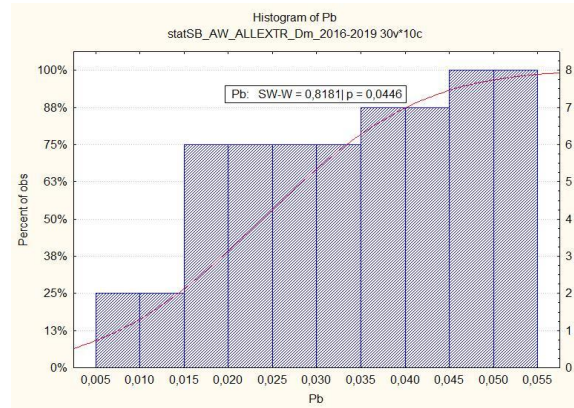
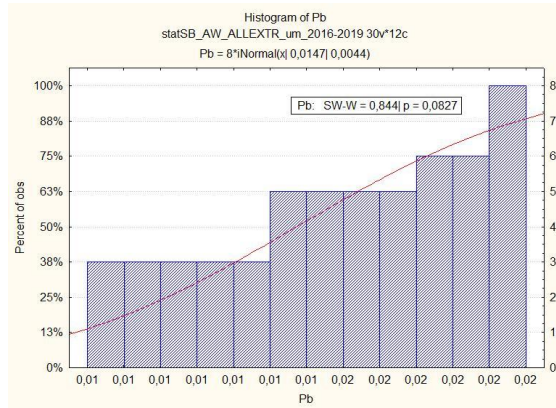
Fig. 1. Scheme of observation points. Larger in size (1, 2, 5, 8, 9, 12, 13, 14) – processed in this paper observation points

### Результати та обговорення

**Вихідні дані.** Параметри з вибірки показників по річці вище ОВ не мають особливостей з розташування пікегів чи за роками спостережень. У вибірці з показниками водосховища й нижньої течії р. Пд Буг прослідковуються такі особливості значень за роками спостережень. Мінералізація послідовно зростає з 2016 по 2019 рік від 819 до 880 мг / дм<sup>3</sup> в Олександрівському водосховищі і ОГЕС та від 801 до 891 мг / дм<sup>3</sup> нижче ОГЕС. Це підтверджує обережно зазначене у попередніх розглядах багаторічних досліджень за усередненими параметрами підвищення TDS на водопосту смт. Олександрівка порівняно з м. Первомайськ. Воно становило близько 11 % і пов'язане зі

збільшенням вмісту сульфатів і хлоридів (у 2016 та 2018 рр. перевищують 160 мг/дм<sup>3</sup>), магнію та натрію, що засвідчує їх надходження до р. Південний Буг внаслідок "продувки" ТВО

[13]. Подібна тенденція спостерігалась останню декаду і у досліджених нами пробах.



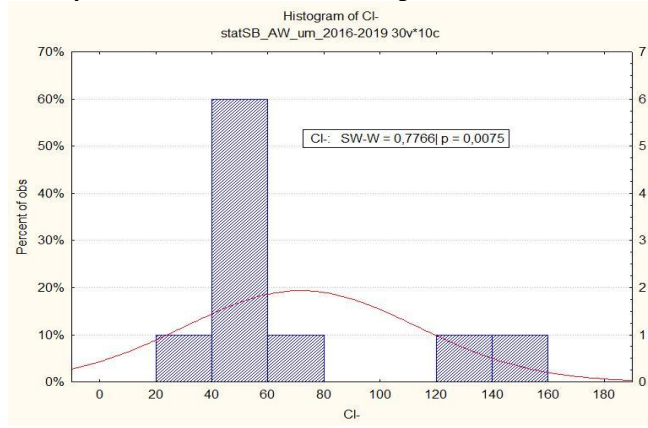
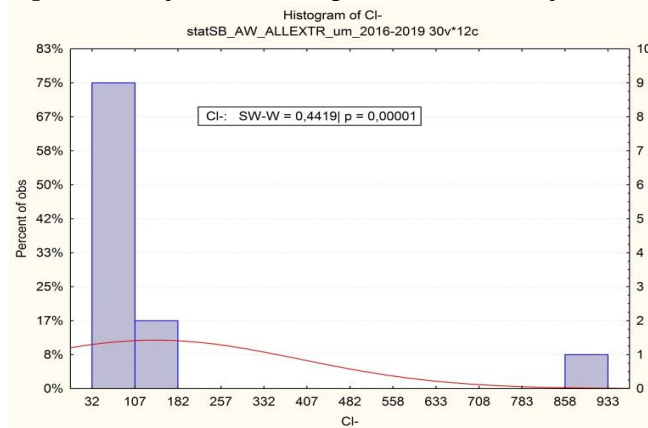
### Pb

Ріка Пд Буг вище Олександрівського вдсх  
Pivdenniy Bug river above Olexandrivske reservoir

Ріка Пд Буг нижче Олександрівського вдсх  
Pivdenniy Bug river below Olexandrivske reservoir

Рис. 2. Приклад визначення порогового значення плумбуму у двох масивах даних за кумулятивною гістограмою

Fig. 2. An example of determining the threshold for the plumbum in two arrays of data with a cumulative histogram



### Cl

Рис. 3. Гістограми розподілу хлорид-іону з екстремумами і без екстремумів

Fig. 3. Histograms of chloride ion distribution with extremes and without extremes

**Точні значення параметрів розподілів та порогові значення** вмістів показників наведено в Табл.х 2 і 3. Для всіх досліджених гідрохімічних показників побудовано гістограми розподілів інтервальні та кумулятивні. За критерієм Шапіро-Уїлка жоден показник не має нормального розподілу, всі дані полімодальні. Діапазони показників вод р. Пд Буг вище та нижче Олександрівського водосховища близькі, якщо не враховувати екстремуми. Загалом у пунктах нижче ОВ більше показників мають максимуми, які значно перевищують встановлені нормативи.

На рисунку 4 та в Табл.х бачимо, що у верхній течії більшість значень TDS, Cl, Na є нижчими, ніж для нижньої течії. Для магнію і сульфатів приблизно однакові. Значення калію вищі у вибірці у верхній течії через вплив ТВО. Тобто з аналізу

гістограм видно гідрохімічні особливості різних частин досліджених водних тіл.

Нітрати у нижній течії мають вузький прийнятний діапазон. Діапазон вмістів фосфатів дещо вужчий у верхній течії р. Південний Буг, але у двох вибірках половина значень становить 0,70-0,76 мг/дм<sup>3</sup>, тобто суттєво перевищує нормативи. Підтверджується регіональна забрудненість ріки фосфатами. Ферум і манган разом з рН вважаємо індикаторами зміни хімічних і біологічних показників, їхні вмісти в умовній нормі, але переважають високі значення. У верхній течії розглянутої ділянки р. Південний Буг діапазон значень феруму ширший. Медіанні значення мангану вищі у пунктах нижче ОВ.

Вмісти нітратів, нітритів, фосфатів та феруму у водах р. Пд Буг вище та нижче Олександрівського водосховища свідчать,



що через ОВ води ріки частково очищуються від надлишку цих забруднювачів. Проте забруднення фосфатами є стійким по всій течії дослідженої ділянки ріки. Значення хімічного споживання кисню, мінералізації, сульфатів, калію, натрію є підвищеними або досить високими по всій течії Пд Бугу, тобто спроможність водосховища до самоочищення на сьогоднішній день не є задовільною. Підвищену мінералізацію та відносно високі вмісти калію не слід пов'язувати лише з впливом водоєм ПУЕК, щодо джерел забруднення – потрібні спеціальні дослідження. Оскільки мінімальні вмісти калію в обох масивах близькі до медіанних, зазначимо, що поріг чутливості методики визначення калію становить  $0,3 \text{ мг/дм}^3$ . Тобто ефекту підлоги нема, вмісти  $6 \text{ мг/дм}^3$  є природньо-техногенним фоном для досліджених водних тіл. У пунктах спостережень на Ташлицькій ВО та Бакшалинському вдх вмісти калію у літньо-осінню межнє 2016 – 2019 рр. становили від  $15,5$  до  $30,0 \text{ мг/дм}^3$ , найнижчі вмісти спостерігались у 2019 р.

Щодо важких металів, з таблиць і гістограм видно наявність ефекту підлоги для більшості елементів, тобто середні чи медіанні часто дорівнюють мінімумам – нижня межа вимірювань недостатньо чутлива для виявлення специфіки досліджених проб води. Нечисленні екстремуми не перевищують діапазон аналітичних визначень та вказують на спроможність використаних методик ресструвати підвищені вмісти металів. У досліджених пробах підвищених значень металів, за винятком феруму, не виявлено. Зазначимо, що аналітичні пороги чутливості – соті частки  $\text{мг/дм}^3$  та використані методики відповідають сформульованим у ВРД ЄС вимогам до точності вимірювань. Тобто сильного забруднення р. Пд Буг важкими металами не спостерігається, для деталізації динаміки їх вмістів потрібні більш точні аналітичні методики, які за необхідності можна застосувати.

Значення понад визначений верхній персентиль (див. табл. 2, 3) слід приймати як показники погіршення якості води, навіть якщо вони нижчі за відомі нормативи. Ці діапазони зведені для двох розглянутих виборок. В таблиці 4 згруповано параметри розподілів гідрохімічних показників вище та нижче Олександрівського водосховища. Звертає на себе увагу вдвічі підвищений відносно встановленого галузевого нормативу вміст хлорид-іону. Нормативне значення  $52 \text{ мг/дм}^3$  відповідає медіанному вмісту хлоридів у пунктах вище ОВ. Нижче ОВ медіанні значення підвищені вдвічі. Отже, підтверджується встановлений раніше галузевий норматив. Вмісти фосфатів у більшості пунктів перевищують нормативні значення, причому вже медіанні вмісти становлять  $0,70 \text{ мг/дм}^3$  проти норми  $0,52 \text{ мг/дм}^3$ . Приймаємо за порогове значення  $0,52 \text{ мг/дм}^3$ .

Отже, за встановленими нами референційними і пороговими значеннями для дослідженої частини р. Пд Буг та Олександрівського водосховища підтверджено діючі нормативи за рН, сульфатами, хлоридами, гідрокарбонат-іоном, кальцієм та маг-

нієм (лужність, твердість), ХСК, нітратами, нітридами, іонами амонію.

Оскільки норматив за хлоридами відображає реальну специфіку їх вмістів у пунктах спостережень, відповідно потрібно дещо знизити порогове значення також за натрієм та прийняти отримане нами значення за калієм. За важкими металами порогові значення можливо точно встановити лише для феруму й мангану. За манганом референційний діапазон майже відповідає діючому нормативу, за ферумом слід прийняти дещо нижчий від нормативного поріг. Також і виміряні безпосередньо у водоймах значення мінералізації слід приймати нижчими за діючий норматив.

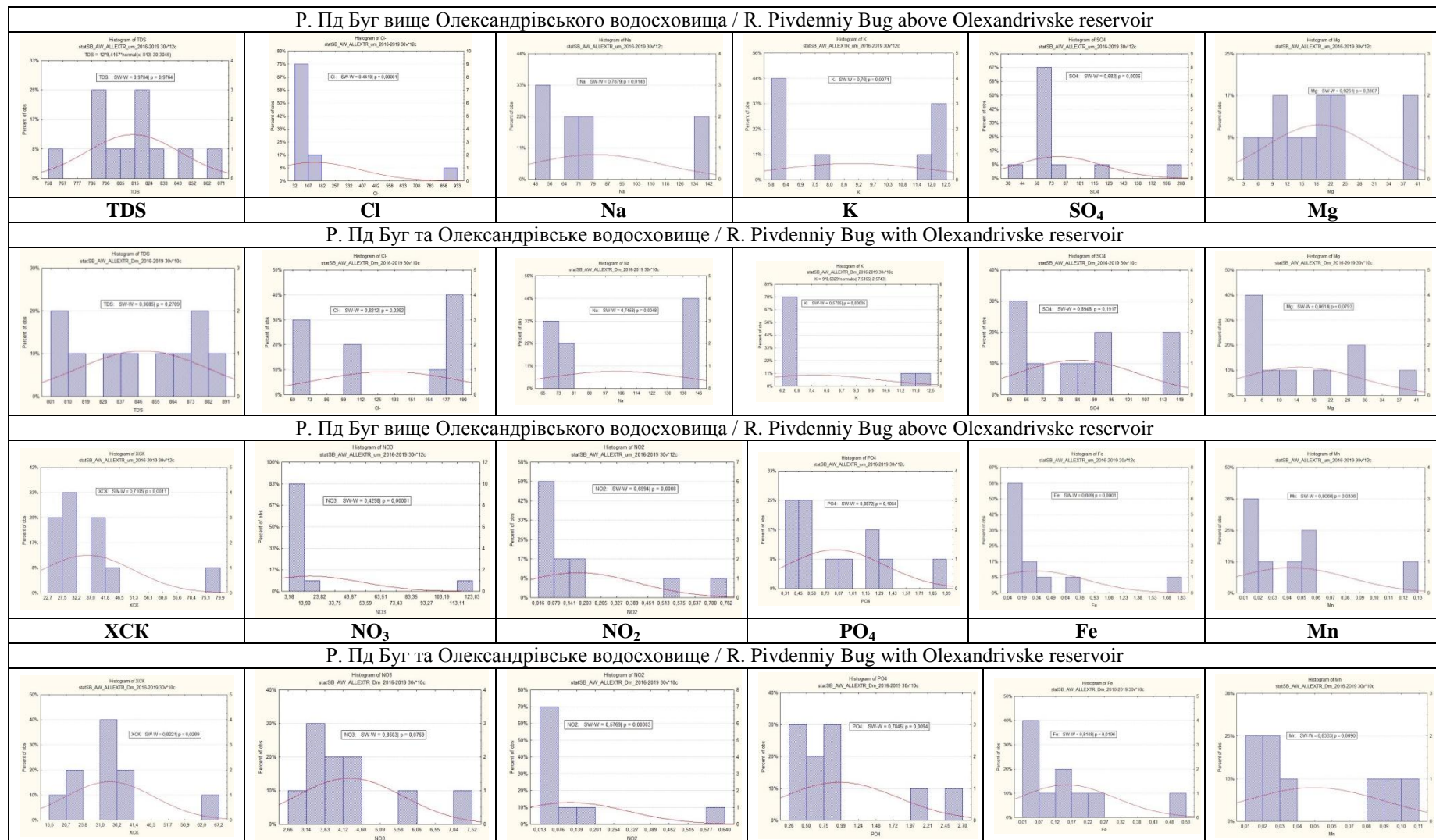
**Обговорення.** Щоб прослідкувати початок загальної тенденції у зміні показників впродовж щорічних спостережень у літній сезон, для дослідженого водного тіла достатньо трьох-чотирьох періодів спостережень із подальшою детальною статистичною обробкою. За результатами детальних спостережень надалі можна буде формувати середньобаторічні узагальнення. Банальне застосування середньоарифметичних значень не має ніякого ефекту, крім підтвердження приблизного регіонального фону.

Оскільки діапазони гідрохімічних показників у різних частинах течії Пд Бугу близькі, значення за всіма пунктами можна використовувати для визначення референційного інтервалу. Пріоритетними гідрохімічними показниками деталізаційного моніторингу для дослідженої ділянки р. Південний Буг вище та нижче Олександрівського водосховища слід вважати мінералізацію, хімічне споживання кисню, вмісти фосфатів, нітрів, нітритів, хлоридів, сульфатів, калію, феруму, мангану. Діючі нормативи для питних та поверхневих вод підходять для інформативної оцінки більшості пріоритетних гідрохімічних показників. Відповідно до загальної стратегії ВРД ЄС та Водного кодексу України, встановлені нормативи повинні сприяти усуненню причин погіршення якості поверхневих вод.

Уточнено референційні значення для таких показників,  $\text{мг/дм}^3$ : мінералізація –  $\leq 870$ , натрій  $\leq 140$ , калій  $\leq 12,0$ , ферум  $\leq 0,20$ , манган  $0,05-0,08$ .

Дискусійними є порогові значення та референційні інтервали за хлоридами і фосфатами. Якщо за хлорид-іоном у межах норми знаходиться до половини спостережених вмістів, то за фосфатами у половині пунктів всією дослідженою протяжністю течії р. Пд Буг вмісти  $\text{PO}_4$  на 35 % перевищують норматив. Невідомо, чи досяжним є рекомендований норматив  $0,52 \text{ мг/дм}^3$ .

За нітратами та нітридами медіанні вмісти у водах вище ОВ наближаються до нормативного порогу, однак у пунктах нижче ОВ ці значення знижуються, тобто стосовно сполук азоту водні тіла наразі самоочищуються. За більшістю елементів якість води р. Пд Буг не відповідає вимогам до чистих питних вод.



**Рис. 4.** Гістограми розподілів гідрохімічних показників р. Південний Буг вище та нижче Олександрівського водосховища

**Fig. 4.** Histograms of distributions of hydrochemical parameters of the Pivdenniy Bug River above and below the Olexandrivske reservoir

**Табл. 2.** Параметри розподілів гідрохімічних показників верхньої та середньої течії р. Південний Буг та Олександрівського водосховища (масив В)  
**Table 2.** Distribution of parameters of the hydrochemical indices of upper and middle flow of the Southern Bug River and the Olexandrivske reservoir (array U)

Ознака	N	Мода	Медіана	Середнє	Мінімум	Максимум	Діапазон	25% квартиль	Верхній перцентиль, вміст / %	Асиметрія	Екセス	Стандартне відхилення	Критерій Шапіро-Уїлка	Відомі нормативні значення
Variable	N	Mode	Median	Mean	Minimum	Maximum	Range	25% quartile	Upper percentile, content / %	Skewness	Kurtosis	Standard deviation	Shapiro-Wilk criterion	Known normative values
pH, од.	12	n	<b>7,66</b>	7,61	7,08	8,12	1,04	7,19	<b>8,03 / 75</b>	-0,09	-1,92	0,41	0,87	<b>6,5-8,5</b>
T, °C	12	23,0	23,2	23,8	20,4	26,7	6,3	22,8	<b>25,2 / 75</b>	0,03	-0,49	1,9	0,94	-
<sup>4</sup> TDS in situ, мг/дм <sup>3</sup>	12	n	<b>816</b>	813	758	871	113	793	<b>833 / 84</b>	0,21	0,37	30	0,98	<b>≤1115<sup>1</sup></b>
HCO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	n	<b>244</b>	250	125	370	245	218	<b>329 / 75</b>	-0,23	-0,27	76	0,94	<b>≤ 425<sup>2</sup></b>
SO <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	n	<b>66</b>	79	30	<b>200</b>	170	64	<b>87 / 84</b>	2,32	6,22	43	0,68	<b>≤ 95<sup>1</sup></b>
Cl <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	50	<b>54</b>	<b>141</b>	32	<b>933</b>	901	49	<b>107 / 75</b>	3,33	11,30	252	0,44	<b>≤ 56<sup>1</sup></b>
Ca, мг/дм <sup>3</sup>	12	n	<b>63</b>	<b>81</b>	22	<b>187</b>	165	35	<b>91 / 67</b>	0,81	-0,75	56	0,88	<b>≤ 180<sup>3</sup></b>
Mg, мг/дм <sup>3</sup>	12	10	<b>18</b>	19	3	41	38	10	<b>25 / 83</b>	0,73	0,00	12	0,93	<b>≤ 50<sup>1</sup></b>
Na, мг/дм <sup>3</sup>	9	50	<b>71</b>	80	48	142	94	50	<b>79 / 78</b>	1,19	0,08	36	0,79	<b>≤ 170<sup>1</sup></b>
K, мг/дм <sup>3</sup>	9	n	<b>7,5</b>	8,9	5,8	12,5	6,7	6,2	<b>12,0 / 67</b>	0,21	-2,46	3,1	0,76	<b>2,0-20,0<sup>2,3</sup></b>
XСК, мг/дм <sup>3</sup> O <sub>2</sub>	12	30,6	<b>30,6</b>	35,8	22,7	<b>79,9</b>	57,2	26,9	<b>37,0 / 58</b>	2,50	7,24	15,2	0,71	<b>≤ 37,0<sup>1</sup></b>
PO <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	n	<b>0,70</b>	<b>0,83</b>	0,31	<b>1,99</b>	1,68	0,43	<b>1,29 / 83</b>	1,09	0,90	0,51	0,89	<b>≤ 0,52<sup>1</sup></b>
NO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	4,43	<b>5,53</b>	17,22	3,98	<b>123,03</b>	119,05	4,43	<b>5,85 / 58</b>	3,36	11,45	33,62	0,43	<b>≤ 6,50<sup>2,3</sup></b>
NO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	0,016	<b>0,080</b>	0,17	0,02	<b>0,76</b>	0,75	0,03	<b>0,080 / 50</b>	2,01	3,50	0,23	0,70	<b>≤ 0,075<sup>2,3</sup></b>
NH <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	9	0,01	<b>0,01</b>	0,03	0,01	0,17	0,17	0,01	<b>0,03 / 89</b>	2,89	8,49	0,05	0,51	<b>≤ 0,44<sup>2,3</sup></b>
Fe, мг/дм <sup>3</sup>	12	0,06	<b>0,15</b>	0,33	0,04	<b>1,83</b>	1,79	0,06	<b>0,19 / 58</b>	2,73	7,98	0,51	0,61	<b>≤ 0,10-0,30<sup>2,3</sup></b>
Cu, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,02#	<b>0,02#</b>	0,03#	0,005	0,08	0,08	0,02	<b>0,03 / 75</b>	2,23	5,77	0,02#	0,71	<b>≤ 0,01 / 1,00<sup>3</sup></b>
Mn, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,01	<b>0,03</b>	0,04	0,01	0,13	0,12	0,01	<b>0,05 / 64</b>	1,78	3,63	0,04	0,81	<b>≤ 0,05 / 0,1<sup>2,3</sup></b>
Ni, мг/дм <sup>3</sup>	8	n	<b>0,02#</b>	0,02#	0,01	0,02#	0,01	0,02#	#	-1,71	2,95	0,00#	0,78	<b>≤ 0,02-0,05 / ≤ 0,10<sup>3</sup></b>
Pb, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,01#	<b>0,02#</b>	0,02#	0,01	0,02	0,01	0,01#	<b>0,02 / 63#</b>	0,01	-1,92	0,00#	0,96	<b>≤ 0,005 / 0,01-0,03<sup>3</sup></b>
Zn, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,01#	<b>0,01#</b>	0,04	0,005#	0,25#	0,25	0,01#	#	2,82	7,98	0,01#	0,84	<b>≤ 0,005 / 0,1-0,5</b>
Sr, мг/дм <sup>3</sup>	8	n	<b>0,49</b>	0,71	0,31	2,00	1,69	0,39	<b>0,87 / 87</b>	2,26	5,49	0,55	0,44	<b>&lt;7,00<sup>2</sup></b>
Cr, мг/дм <sup>3</sup>	12	0,02#	<b>0,02#</b>	0,02#	0,01	0,04	0,03	0,02	<b>0,03 / 67#</b>	1,07	0,26	0,01#	0,84	<b>≤ 0,005 / &lt; 0,05<sup>3</sup></b>

Примітка для таблиць 2 і 3. <sup>1</sup> – Галузеві, діючі на ПУЕК, для р. Південний Буг та Олександрівського водосховища. <sup>2,3</sup> – за [17-19]. <sup>4</sup> - TDS in situ – виміряна безпосередньо в пункті моніторингу мінералізація. За [14], для поверхневих вод, референційний діапазон співвідношення мінералізації, виміряної in situ, TDS до суми всіх катіонів та аніонів за лабораторними вимірами M, TDS / M = 0,50-0,75. Отримані нами результати на 92-95 % відповідають цьому критерію. Жирним курсивом відмічено медіану та верхній перцентиль за кумулятивними гістограмами (75-90 % вмістів) у таблиці 2 або нижче у таблиці 3. Курсивом відмічено середні, які суттєво відрізняються від медіан. Значком # позначено близькі медіани, моди, середні, мінімуми, максимуми, стандартні відхилення елементів, що свідчить про недостатню чутливість застосованої методики аналітичних визначень по верхній або нижній межі. Відповідно, для цих елементів неможливо визначити верхній або (і) нижній поріг фонових значень. Насиченим кольором відмічено перевищення встановлених нормативів або наближення до них у 40 – 50 % пунктів спостережень. Жирним шрифтом позначено будь-яке перевищення відомих нормативів та самі нормативи.

Note for Tables 2 and 3. <sup>1</sup> - Industrial operating on PUEK for the Southern Bug River and the Olexandrivske Reservoir. <sup>2,3</sup> - by [17-19]. 4 - TDS in situ is measured directly at the monitoring point. According to [14], for surface waters, the reference range for the ratio "measured in situ TDS to the sum of all cations and anions according to laboratory measurements M", TDS / M = 0.50-0.75. The results we obtained at 92-95% have met this criterion. Bold italics indicate the median and upper percentile by cumulative histograms (75-90% of content) in Table 2 or below in Table 3. The italics indicate averages that are significantly different from the median. The # symbol indicates close medians, modes, averages, minimums and standard deviations of the elements, indicating that the applied analytical method of the upper or lower bounds is not sensitive enough. Accordingly, it is not possible to determine the upper or (and) lower threshold of background values for these elements. A rich color indicates an excess of established standards or approaching them in 40 - 50% of observation points. Bold indicates any excess of known standards and standards themselves

**Табл. 3.** Параметри розподілів гідрохімічних показників середньої та нижньої течії р. Південний Буг та Олександрівського водосховища (масив Н)  
**Table 3.** Parameters of distributions of hydrochemical indices of the average and lower flow of the Southern Bug River and of the Olexandrivske reservoir (array L)

Ознака	N	Мода	Медіана	Середнє	Мінімум	Максимум	Діапазон	25% квартиль	Верхній перцентиль, вміст / %	Асиметрія	Екцес	Стандартне відхилення	Критерій Шапіро-Уїлка	Відомі нормативні значення
Variable	N	Mode	Median	Mean	Minimum	Maximum	Range	25% quartile	Upper percentile, content / %	Skewness	Kurtosis	Standard deviation	Shapiro-Wilk criterion	Known normative values
pH, од.	10	n	<b>8,18</b>	8,04	7,24	8,60	1,36	7,70	<b>8,40 / 90</b>	-0,73	0,08	0,41	0,94	<b>6,5-8,5</b>
T, °C	10	n	<b>24,0</b>	23,5	20,0	26,8	6,8	20,4	25,44 / 70	-0,25	-1,79	2,6	0,88	-
<sup>4</sup> TDS in situ, мг/дм <sup>3</sup>	10	n	<b>851</b>	848	801	891	90	819	<b>870 / 80</b>	-0,21	-1,69	34	0,91	<b>≤1115<sup>1</sup></b>
HCO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	10	195	<b>268</b>	251	31	344	313	195	<b>313 / 80</b>	-1,52	2,72	94	0,86	<b>≤ 425<sup>2</sup></b>
SO <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	10	90	<b>82</b>	83	60	<b>119</b>	59	62	<b>85-115 / 80</b>	0,65	-0,60	21	0,89	<b>≤ 95<sup>1</sup></b>
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	10	190	<b>112</b>	132	60	<b>190</b>	130	66	<b>112-164 / 50</b>	-0,26	-2,02	56	0,82	<b>≤ 56<sup>1</sup></b>
Ca, мг/дм <sup>3</sup>	10	n	<b>75</b>	84	23	152	129	55	<b>120 / 80</b>	0,29	-1,17	44	0,94	<b>≤ 180<sup>3</sup></b>
Mg, мг/дм <sup>3</sup>	10	3	<b>11</b>	15	3	41	39	3	<b>25-40 / 90</b>	0,82	-0,44	14	0,86	<b>≤ 50<sup>1</sup></b>
Na, мг/дм <sup>3</sup>	9	n	<b>78</b>	103	65	146	81	70	<b>138 / 67</b>	0,25	-2,50	38	0,75	<b>≤ 170<sup>1</sup></b>
K, мг/дм <sup>3</sup>	9	6,3#	<b>6,3</b>	7,5	6,2#	12,5	6,3	6,2	<b>12,0 / 89</b>	1,65	0,94	2,6	0,58	<b>2,0-20,0<sup>2-3</sup></b>
XCK, мг/дм <sup>3</sup> O <sub>2</sub>	10	36,7	<b>33,6</b>	33,8	15,5	<b>67,2</b>	51,7	25,5	<b>38,8 / 75</b>	1,65	4,58	13,5	0,82	<b>≤ 37,0<sup>1</sup></b>
PO <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	10	n	<b>0,76</b>	0,96	0,26	<b>2,70</b>	2,44	0,35	<b>1,00 / 80</b>	1,52	1,44	0,81	0,78	<b>≤ 0,52<sup>1</sup></b>
NO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	10	n	<b>3,87</b>	4,27	2,66	<b>7,52</b>	4,87	3,32	<b>4,50 / 80</b>	1,52	2,42	1,42	0,86	<b>≤ 6,50<sup>2-3</sup></b>
NO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	10	0,020	<b>0,038</b>	0,115	0,013	<b>0,640</b>	0,627	0,020	<b>0,076 / 77</b>	2,71	7,68	0,193	0,58	<b>≤ 0,075<sup>2-3</sup></b>
NH <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	7	n	<b>0,029</b>	0,17	0,01	<b>1,08</b>	1,07	0,01	<b>0,12 / 86</b>	2,64	6,99	0,40	0,47	<b>≤ 0,44<sup>2-3</sup></b>
Fe, мг/дм <sup>3</sup>	10	n	<b>0,12</b>	0,153	0,02	<b>0,53</b>	0,52	0,05	<b>0,17 / 70</b>	1,86	4,11	0,15	0,81	<b>≤ 0,10-0,30<sup>2-3</sup></b>
Cu, мг/дм <sup>3</sup>	8	n	<b>0,01</b>	0,01#	0,005#	0,02#	0,02	0,01#	#	0,25	-1,93	0,01#	0,81	<b>≤ 0,01 / 1,00<sup>3</sup></b>
Mn, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,02	<b>0,025</b>	0,05	0,005	0,11	0,11	0,02	<b>0,08 / 75</b>	0,68	-1,63	0,04	0,84	<b>≤ 0,05 / 0,1<sup>2-3</sup></b>
Ni, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,02#	<b>0,02#</b>	0,02#	0,01	0,03	0,02	0,02#	<b>0,03 / 88#</b>	0,81	2,05	0,01#	0,91	<b>≤ 0,02-0,05 / ≤ 0,10<sup>3</sup></b>
Pb, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,02#	<b>0,02</b>	0,02	0,01	0,05	0,04	0,02#	<b>0,04 / 88#</b>	1,16	0,48	0,01#	0,94	<b>≤ 0,005 / 0,01-0,03<sup>3</sup></b>
Zn, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,01#	<b>0,01#</b>	0,03	0,005#	0,14	0,13	0,01#	<b>0,12 / 88#</b>	2,43	6,16	0,04#	0,82	<b>≤ 0,005 / 0,1-0,5</b>
Sr, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,35	<b>0,41</b>	0,41	0,23	0,55	0,32	0,34	<b>0,45 / 75#</b>	-0,30	-1,16	0,11	0,63	<b>&lt;7,00<sup>2</sup></b>
Cr, мг/дм <sup>3</sup>	10	0,02	<b>0,02#</b>	0,02#	0,01	0,07	0,06	0,02#	#	2,74	8,16	0,02#	0,61	<b>≤ 0,005 / &lt; 0,05<sup>3</sup></b>

Див. примітку до таблиці 2.  
 See note to table 2.

**Табл. 4.** Порогові та референційні значення гідрохімічних показників вод р. Південний Буг вище та нижче Олександрівського водосховища  
**Table 4.** Threshold and reference values of hydrochemical parameters of the Southern Bug River waters above and below the Olexandrivske reservoir

Ознака	N В	Меді- ана В	Верхній персен- тиль, вміст / % В	Відомі нормативні значення	N Н	Медіана Н	Верхній пер- сен-тиль, вміст / % Н	Порогове значення	Референційний діапазон
Variable	N U	Median U	Upper per- centile, con- tent / % U	Known normative values	N L	Median L	Upper per- centile, con- tent / % L	Threshold value	Reference range
pH, од.	12	7,66	8,03 / 75	<b>6,5-8,5</b>	10	8,18	8,40 / 90	<b>8,40</b>	<b>6,50-8,50</b>
T, °C	12	23,2	25,2 / 75	-	10	24,0	25,44 / 70	-	-
<sup>4</sup> TDS in situ, мг/дм <sup>3</sup>	12	816	833 / 84	≤ <b>1115<sup>1</sup></b>	10	851	870 / 80	<b>870</b>	≤ <b>870</b>
HCO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	244	329 / 75	≤ <b>425<sup>2</sup></b>	10	268	313 / 80	<b>329</b>	≤ <b>425</b>
SO <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	66	87 / 84	≤ <b>95<sup>1</sup></b>	10	82	85-115 / 80	<b>87</b>	≤ <b>95</b>
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	12	54	107 / 75	≤ <b>56<sup>1</sup></b>	10	112	112-164 / 50	<b>54</b>	≤ <b>56</b>
Ca, мг/дм <sup>3</sup>	12	63	91 / 67	≤ <b>180<sup>3</sup></b>	10	75	120 / 80	<b>120</b>	≤ <b>180</b>
Mg, мг/дм <sup>3</sup>	12	18	25 / 83	≤ <b>50<sup>1</sup></b>	10	11	25-40 / 90	<b>40</b>	≤ <b>50</b>
Na, мг/дм <sup>3</sup>	9	71	79 / 78	≤ <b>170<sup>1</sup></b>	9	78	138 / 67	<b>138</b>	≤ <b>140</b>
K, мг/дм <sup>3</sup>	9	7,5	12,0 / 67	<b>2,0-20,0<sup>2-3</sup></b>	9	6,3	12,0 / 89	<b>12</b>	≤ <b>12,0</b>
XСК, мг/дм <sup>3</sup> O <sub>2</sub>	12	30,6	37,0 / 58	≤ <b>37,0<sup>1</sup></b>	10	33,6	38,8 / 75	<b>37</b>	≤ <b>37,0</b>
PO <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	0,70	1,29 / 83	≤ <b>0,52<sup>1</sup></b>	10	0,76	1,00 / 80	<b>0,52-0,70?</b>	≤ <b>0,52?</b>
NO <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	5,53	5,85 / 58	≤ <b>6,50<sup>2-3</sup></b>	10	3,87	4,50 / 80	<b>6,50</b>	≤ <b>6,50<sup>2</sup></b>
NO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	12	0,080	0,080 / 50	≤ <b>0,075<sup>2-3</sup></b>	10	0,038	0,076 / 77	<b>0,075</b>	≤ <b>0,075</b>
NH <sub>4</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	9	0,01	0,03 / 89	≤ <b>0,44<sup>2-3</sup></b>	7	0,029	0,12 / 86	<b>0,44</b>	≤ <b>0,44</b>
Fe, мг/дм <sup>3</sup>	12	0,15	0,19 / 58	≤ <b>0,10-0,30<sup>2-3</sup></b>	10	0,12	0,17 / 70	<b>0,19</b>	≤ <b>0,20</b>
Cu, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,02	0,03 / 75	≤ <b>0,01 / 1,00<sup>3</sup></b>	8	0,01	#	#	#
Mn, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,03	0,05 / 64	≤ <b>0,05 / 0,1<sup>2-3</sup></b>	8	0,025	0,08 / 75	<b>0,08</b>	<b>0,05-0,08</b>
Ni, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,02	#	≤ <b>0,02-0,05 / ≤0,10<sup>3</sup></b>	8	0,02	0,03 / 88	#	#
Pb, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,02	0,02 / 63	≤ <b>0,005 / 0,01-0,03<sup>3</sup></b>	8	0,02	0,04 / 88	<b>0,03</b>	<b>0,01-0,03</b>
Zn, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,01	#	≤ <b>0,005 / 0,1-0,5</b>	8	0,01	0,12 / 88	#	#
Sr, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,49	0,87 / 87	<b>&lt;7,00<sup>2</sup></b>	8	0,41	0,45 / 75	<b>7,00</b>	<b>&lt;7,00</b>
Cr, мг/дм <sup>3</sup>	12	0,02	0,03 / 67	≤ <b>0,005 / &lt; 0,05<sup>3</sup></b>	10	0,02	#	#	#

Виділено референційні значення, які відрізняються від встановлених нормативів. У заголовках В – пункти вище ОВ, Н – нижче ОВ. Інші пояснення див. примітку до таблиці 2.  
 Reference values that differ from the established standards are highlighted. In the headings U – sampling points above Olexandrivske reservoir (OR), L - below OR. See other explanations in the note to table 2.

## Висновки та рекомендації.

1. За результатами чотирирічного моніторингу запропоновано порогові значення 19 гідрохімічних показників р. Південний Буг вище та нижче Олександрівського водосховища, які стануть основою уточнюючого ранжування вод за класами забруднення згідно рекомендаціям ВРД ЄС.

2. У фокусі особливої уваги деталізаційного моніторингу слід вважати хімічне споживання кисню, вмісти фосфатів, нітратів, нітритів, хлоридів, сульфатів, калію, феруму, мангану та мінералізацію. За мінералізацією, вмістами натрію, калію, феруму та мангану уточнено референційні значення –  $TDS \leq 870$ , натрій  $\leq 140$ , калій  $\leq 12,0$ , ферум  $\leq 0,20$ , манган  $0,05-0,08 \text{ мг/дм}^3$ .

3. Отримані результати виявляють гідрохімічну специфіку різних частин досліджених водних тіл. Вони застосовні для подальших динамічних спостережень, моделювання (точні розрахунки референційних значень з урахуванням емпірично встановлених розподілів, просторово-часове моделювання забруднення) та системного аналізу (класифікаційні й прогностичні завдання).

4. Референційні значення гідрохімічних показників слід розглядати від мінімуму (який хоча б на 50 % відрізняється від нижньої межі визначення) до встановленого порогового значення. Встановлені референційні значення можуть бути використані для уточнення застосовності тих чи інших класифікаторів забруднення.

5. Установам, що виконують моніторинг водних тіл, рекомендується використовувати для обґрунтування референційних і порогових значень гідрохімічних показників первинні дані вже напрацьованих результатів спостережень та інтегрувати їх в сучасні бази даних.

6. Розгляд даних за інформативними статистичними показниками також дозволяє оперативно оцінити, чи достатньо є чутливість застосованих методик визначення окремих елементів для моніторингу конкретного водного тіла

## Література

1. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення / EU Water Framework Directive 2000/60/ЄС. Definitions of Main Terms/ – К.: 2006. – 240 с.

2. А.І. Томільцева, А.В. Яцик, В.Б. Мокін. Екологічні основи управління водними ресурсами: навч. посіб. К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.

3. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку розроблення плану управління річковим басейном» від 18 травня 2017 р. № 336. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/336-2017-%D0%BF>

4. Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України «Про затвердження Переліку забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод» від 6 лютого 2017 р. № 45, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 20 лютого 2017 р. за № 235/30103. Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/ru/z0235-17>.

5. Proposed system of surface water quality standards for Moldova: Environmental Action Programme (EAP) Technical report. – <http://www.oecd.org/eap.htm>. – 2007.

6. Гончарук В.В., Чернявська А.П., Жукинський В.М. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды: Ин-т коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского НАНУ. - Киев: Наукова думка, 2005. - 324 с-

7. Groundwater Protection in Europe: The new groundwater directive – consolidating the EU regulatory framework. Published: 2009-03-23. Corporate author(s): Directorate-General for Environment (European Commission).

8. С. Афанасьев, А. Петерс, В. Сташук, та О. Ярошевич. План управління річковим басейном Південного Бугу: аналіз стану та першочергові заходи. – К.: Вид-во ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2014, 188 с.

9. С.О.Афанасьев, Т.О. Васильчук, О.М. Летицька, О.П. Білоус. Оцінка екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС. Київ: НВП «Інтерсервіс», 2012. 28 с.

10. В.І. Кофанов, М.С. Огняник. Нормативно-методичне забезпечення визначення якості води при оцінці впливу на навколишнє середовище Екологія довідника та безпека життєдіяльності, №4 2008. С. 15 – 23.

11. Г.В. Лисиченко, В.В. Серебряков та ін. Комплексний геоекологічний моніторинг зони впливу Ташлицької ГАЕС та Олександрівського водосховища (1998-2008 рр.). Київ: "Салютік". - 2010. - 236 с.

12. В.Г. Верховцев, М.А. Бугера, В.П. Булгаков та ін. Комплексний геоекологічний моніторинг зони впливу Ташлицької ГАЕС та Олександрівського водосховища (2009-2016 рр.). - Київ: Наук. думка. - 2017. - 200 с.

13. Ю. Гумен, Г. Лисиченко, О. Жолуденко. Підняття рівня Олександрівського водосховища до проектної відмітки 20,7 м : Оцінка впливу на навколишнє середовище ОВНС . – ІГНС НАНУ. – 2017. – 254 с.

14. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. – American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation – 2007. 1200 p.

15. Helsel D.R. and Hirsch R.M. (2002). Statistical Methods in Water Resources. Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation. USGS. 2002. 510 p.

16. Borges Garcia C.A., Silva I.S., Silva M.C. et.al. Evaluation of Water Quality Indices: Use, Evolution and Future Perspectives. Submitted: March 2nd 2018 Reviewed: June 11th 2018 Published: November 5th 2018.

<https://www.intechopen.com/books/advances-in-environmental-monitoring-and-assessment/evaluation-of-water-quality-indices-use-evolution-and-future-perspectives>.

17. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ. Мінекономрозвитку України 2014. 25 с.

18. ДСанПіН. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання. Київ. МОЗ України – 1997. – 30с.

19. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правил вибирання. Прийнято та надано чинності 05.07.2007. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 36 с.

## References.

1. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. (2006), Kyiv. 240 p.

2. A.I. Tomiltseva, A.V. Yatsik, V.B. Mokin and others. (2017), Institute for Environmental Management and Balanced Environmental Management, 200 p.

3. On Approving the Procedure for the Development of River Basin Management Plans; available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/336-2017-%D0%BF>

4. On Approving the List of Pollutants for the identification of the Chemical Condition of Surface and Groundwater

Bodies, available at:

<http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/z0235-17>

5. Proposed system of surface water quality standards for Moldova (2007), Environmental Action Programme (EAP) Technical report, available at: <http://www.oecd.org/eap.htm>.

6. Goncharuk V.V., Chernyavska A.P., Zhukinsky V.M. (2005) Dumanskiy Institute of Colloidal Chemistry and Water Chemistry, NASU, Kyiv: Naukova Dumka, 324 p.

7. Groundwater Protection in Europe: The new groundwater directive – consolidating the EU regulatory framework. Published: 2009-03-23. Corporate author(s): Directorate-General for Environment (European Commission).

8. Afanasyev S., Peters A., Stashuk V., Yaroshevich O. (2014), The management plan for the rich pool of the Pivdenny Bug: analysis and come in. Kyiv: Type of TOV "NVP" Interservis ", 188 p.

9. Afanasyev S.O., Vasilchuk T.O., Letitska O.M., O.P. Bilous. (2012), Kyiv: NVP "Interservis", 28 p.

10. Kofanov B.I., Fireman M.S., (2008)? Ekologiya dov-killi and non-life insurance, No. 4. Pp. 15 – 23.

11. Lisichenko G.V., Serebryakov V.V. (2010), Kiev: "Salutis". 236 p.

12. V.G. Verkhovtsev, M.A. Bouguer, V.P. Bulgakov(2017) Kyiv: Science. Dumka. 200 p.

13. Gumen Yu., Lisichenko G., Zholudenko O.(2017) Environmental Impact Assessment EIA, 254 p.

14. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2007). 1200 p.

15. Helsel D.R. and Hirsch R.M. (2002). USGS. 510 p.

16. Borges Garcia C.A., Silva I.S., Silva M.C. (2018), available at: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-environmental-monitoring-and-assessment/evaluation-of-water-quality-indices-use-evolution-and-future-perspectives>.

17. DSTU 7525: 2014. (2014), Kyiv. Minekrozvitku Ukraine, 25 p.

18. DSanPin. Drinking Water. (1997), Kyiv. MOZ of Ukraine, 30 p.

19. DSTU 4808:2007. (2007), Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 36 p.

### SUBSTANTIATION OF THRESHOLD VALUES OF HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE PIVDENNYI BUH RIVER WATER QUALITY ACCORDING TO THE EU WATER FRAMEWORK DIRECTIVE

**Shkapenko V.V.**, Ph.D. (Geol), Head of the laboratory, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine» shkapenko.viktoriya@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-0760-2907>

**Buzhuk L.O.** Ph.D. (Geol), Senior Research, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», [l.a.buzhuk@gmail.com](mailto:l.a.buzhuk@gmail.com)

**Zoludenko O.O.** Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

**Litvinenko U.V.** Ph.D. (Tech), scientific secretary State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», [yu.lytvynenko@ukr.net](mailto:yu.lytvynenko@ukr.net)

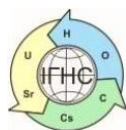
**Fomina T.V.** Engineer State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

**Vashchenko N.M.** Leading engineer State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», [sotama@ukr.net](mailto:sotama@ukr.net)

**Zelak O.D.** Junior Research State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», [zhelak@ukr.net](mailto:zhelak@ukr.net)

*According to the results of four-year monitoring studies of the Southern Buh River above and below the Alexander Reservoir, the threshold values have been substantiated for 19 hydrochemical indices of water quality. They will be a basis for further detailed monitoring in line with the implementation of the EU Water Framework Directive. The Groundwater Directive (2016) particularly emphasises on identifying and correcting sustainable trends in pollution. Another item that is covered is detection and correction. The general recommendation is to use 75% of quarters from the analyzed contents (or from approved standards) as the threshold for deterioration of water quality, obviously, considering the peculiarities of the distribution of values, this is the default standard in the world. This recommended threshold may be adapted to the local circumstances, justifying different percentages. The methodological approach to setting thresholds and reference values is to consider in detail the parameters of the parameter distributions and to determine the threshold values for the part of the Southern Buh that is directly influenced by the waters of the Tashlyk hydroelectric power station and the Alexander reservoir. These data will become the basis for clarifying the classification of waters according to EU recommendations. Our research demonstrated low informativeness of mean values of the indicators and the necessity to take into account the distribution of values to determine the threshold concentrations. The found ranges of the reference values can be used in studies of the validity of certain classifications of the surface water purity. Significant contamination of the studied area of the Southern Buh River with nitrates and phosphates was confirmed. The insignificant effect of the Tashlyk hydroelectric power station on the total dissolved solids content in the Southern Buh River water and the ability of the Alexander reservoir to self-purify have been demonstrated.*

**Key words:** EU Water Framework Directive, hydrochemical parameters, thresholds, reference values, water monitoring, water body



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.112>

УДК 550.42

## Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Верховцев В.Г., Борисова Н.Н., Чупринова С.Ф.

**Фомин Ю.А.**, канд. геол.-мин. н., вед. науч. сотр. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-3043-8359>, [yaf1941@gmail.com](mailto:yaf1941@gmail.com)

**Демихов Ю.Н.**, канд. геол.-мин. н., зав. лаб. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-3576-6570>, [y\\_demikhov@ukr.net](mailto:y_demikhov@ukr.net)

**Верховцев В.Г.**, докт. геол. н., зав. отдела ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-1015-6725>, [Verkhovtsev@ukr.net](mailto:Verkhovtsev@ukr.net)

**Борисова Н.Н.**, вед. инж. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-7169-1430>, [IGNS\\_Borysova@nas.gov.ua](mailto:IGNS_Borysova@nas.gov.ua)

**Чупринова С.Ф.**, вед. инж. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», <https://orcid.org/0000-0002-1466-9333>, [IGNS\\_Chuprynova@nas.gov.ua](mailto:IGNS_Chuprynova@nas.gov.ua)

### КАРБОНАТЫ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ШИТА

В статье приведены результаты изучения изотопного состава кислорода и углерода карбонатов в рудных месторождениях раннего докембрия Украинского щита. Изучены следующие объекты: 1. Железорудные образования Криворожской сверхглубокой скважины, где карбонаты выделены из всех подразделений криворожской серии палеопротерозоя, а также из архейских пород днепротетровского комплекса. 2. Урановые руды и вмещающие их породы Севериновского месторождения ураново-альбититовой формации палеопротерозойского возраста. 3. Золоторудные месторождения архейских зеленокаменных структур Приднепровья, в том числе: Сергеевское (Au-колчеданные и Au-Bi-Te руды) и Балка Широкая (Au-железистые и Au-Ag-Pb-Zn руды). Генетически карбонаты сравниваемых участков обнаруживают признаки первично осадочных карбонатных образований, испытавших влияние гидротермально-метасоматических процессов. Температурные условия их образования свидетельствуют о смене режима карбонатообразования от прогрессивного в диапазоне температур 70-150°C (диафорез) – 220-300°C (метасоматоз) на регрессивный: до 180-80°C (поздние жилки). Протерозойским карбонатам по сравнению с архейскими присущи существенно утяжеленный кислород и облегченный углерод. Скарноидный механизм формирования рудного ореола в условиях высокомагнетитовой среды объясняет последовательность и метасоматический характер карбонатизации. Среда и условия минералообразования благоприятны для роста крупных метакристаллов доломита, кальцита, актинолита и тремолита; что подтверждается исследованием флюидных включений. Наличие во включениях в кальците рудных минералов указывает на рудообразующий характер изученного флюида. Среди гранитоидов днепротетровского комплекса отмечаются участки аналогичные графит-карбонатным породам гданцевской свиты, в том числе и по изотопному составу, которые характеризуются интенсивными тектоническими нарушениями. В таких зонах разуплотнения наблюдается существенное падение температуры. Все это даёт основание предположить наличие в этом районе Кривбасса системы крупных сбросов (тектонических клиньев) с погружением фрагментов, сложенных породами криворожской серии, в более древние гранитоиды.

**Ключевые слова:** архей, палеопротерозой, месторождения урана и золота, карбонаты, изотопный состав, Украинский щит, архейские зеленокаменные структуры.

**Введение.** Широкое распространение карбонатов в докембрии Украинского щита, а именно присутствие их в различных формах и разном количестве практически во всех геологических подразделениях [1], в том числе в рудных месторождениях, а также сочетание геологических методов изучения объектов с изотопными определениями значительно расширяет возможности генетических построений. При этом определение генезиса древних карбонатов, как правило, встречается трудности, преодолимые с использованием изотопно-геохимических методов.

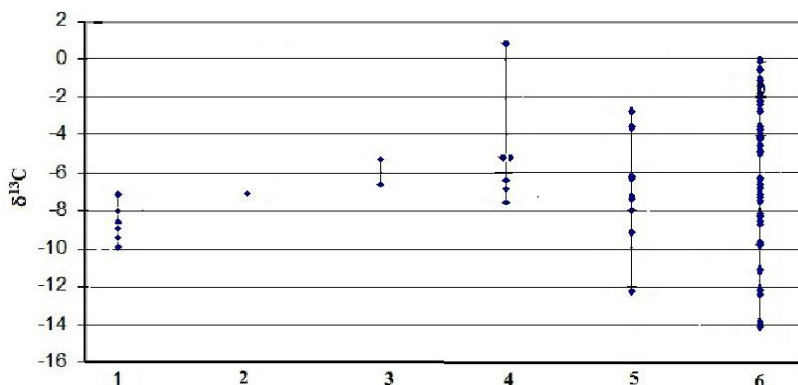
Целью исследования было получение генетических и изотопно-геохимических характеристик до-

кембрийских карбонатов. В статье приведены результаты многолетнего систематического изучения изотопного состава кислорода и углерода карбонатов в рудных месторождениях раннего докембрия Украинского щита на примере трёх объектов. Во-первых, это железорудные образования, вскрытые Криворожской сверхглубокой скважиной, где карбонаты выделены из всех подразделений палеопротерозоя криворожской серии, а также из архейских пород днепротетровского комплекса, слагающих гранитоидный фундамент в этом регионе (рис. 1). Всего в количестве 63 образцов в общем интервале от 160 до 3480 м. Во-вторых, это 81 образец карбонатов из золоторудных



месторождений архейских зеленокаменных структур Приднепровья, в том числе Сергеевского (Ау-колчеданные и Ау-Ві-Те руды) и Балки Широкой (Ау-железистые и Ау-Аg-Рb-Zn руды) (см. приложение) (рис. 2). В-третьих, это 65 образцов палеопротерозойских карбонатов из урановых руд и вмещающих их пород Севериновского месторождения ураново-альбититовой формации также палеопротерозойского возраста Ингульского мегаблока (рис. 3).

**1. Карбонаты криворожской серии.** Карбонаты Криворожской скважины определены как доломит – железистый доломит, кальцит и анкерит. В геологическом отношении они относятся к следующим типам:



**Рис. 1.** Изотопный состав углерода карбонатов Криворожской сверхглубокой скважины (по свитам). Архей: 1 – днепропетровский комплекс; палеопротерозой: 2 – новокриворожская свита; 3 – скелетоватская свита; 4 – саксаганская свита; 5 – гданцевская свита; 6 – глееватская свита.

**Fig. 1** The carbon isotopic composition of carbonates of the Kryvyi Rih superdeep well (according to suites). Archean: 1 - Dnipropetrovsk complex; Paleoproterozoic: 2 - Novokryvorizka suite; 3 - skeleton retinue; 4 - Saksaganska suite; 5 - Gdantsev retinue; 6 - Gleevat suite.

В ряду галька (прослой) – деформированная галька с переотложением вещества – жильно-метасоматические зоны происходит существенное облегчение кислорода; углерод от первых ко вторым испытал утяжеление, затем заметное облегчение. Эта тенденция является естественной для гидротермально-метасоматических карбонатов. Общее обогащение изотопом  $^{12}\text{C}$  карбоната гальки по сравнению с осадочными карбонатами гданцевской свиты, за счет которых эта галька образовалась, свидетельствует о диагенезе осадков в условиях аэрации [5]. Температура их образования, определенная Н.М. Гостяевой методом гомогенизации газовой-жидких включений [4], составляет 260-220°C в местах залечивания трещин жильным кальцитом она еще ниже – 180-80°C. По данным Н.С. Курлова и др. [2], температура карбонатизации здесь варьирует в пределах 120-280°C.

Следует обратить внимание на наличие среди гранитоидов днепропетровского комплекса участков, сложенных существенно биотитовыми микрогнейсами, обогащенными карбонатами (кальцитом) и графитом. Нужно отметить два обстоятельства. Во-первых, полная аналогия таких участков графит-карбонатным породам гданцевской свиты, в том числе и по изотопному составу. Во-вторых, весьма интенсивная тектоническая нарушенность этих участков, которые документально

отнесены к зонам дробления. Такие зоны разуплотнения проявляются интенсивной эпигенетической карбонатизацией и существенным падением температуры. Все это даёт основание предположить наличие в этом районе Кривбасса системы крупных сбросов (тектонических клиньев) с погружением фрагментов, сложенных породами криворожской серии в более древние гранитоиды. Новокриворожскую свиту, согласно данным Д.Н. Щербака, мы относим к палеопротерозою.

Изоотопные вариации кислорода и углерода в карбонатах при всем их геологическом и изотопном разнообразии подчиняются отчетливой общей тенденции постепенного облегчения обоих элементов от поздних подразделений к ранним с одновременной гомогенизацией их изотопного состава (рис. 1, приложение) [4].

отнесены к зонам дробления. Такие зоны разуплотнения проявляются интенсивной эпигенетической карбонатизацией и существенным падением температуры. Все это даёт основание предположить наличие в этом районе Кривбасса системы крупных сбросов (тектонических клиньев) с погружением фрагментов, сложенных породами криворожской серии в более древние гранитоиды. Новокриворожскую свиту, согласно данным Д.Н. Щербака, мы относим к палеопротерозою.

## 2. Карбонаты золоторудных месторождений архейских зеленокаменных структур Приднепровья.

Эти карбонаты генетически представлены весьма разнообразно. Наиболее близки к исходным карбонатам первично осадочные карбонатсодержащие отложения хемогенного и туфогенно-терригенного рядов, вмещающие стратиформное колчеданное оруденение. Более поздние карбонаты связаны с золоторудными гидротермально-метасоматическими процессами, которые широко проявлены ореолами околорудных изменений (скарноидного (кварц-карбонат-амфиболового) либо сольфатарно-фумарольного (формаций пропилитов-вторичных кварцитов и листовитов-березитов) типа. По составу карбонаты соответствуют сидероплезиту, доломиту, реже анкериту и

кальциту, при этом большинство карбонатов имеют переменный состав катионной части (таблица 1).

В пределах золотоносных зеленокаменных структур наиболее развиты именно скарноиды (тремолит-актинолитовые метасоматиты) [6]. Эти образования отличаются отчетливо зональным строением ореолов с выделением трех зон, а именно: внешней – хлоритовой с пиритом, промежуточной – амфиболовой с хлоритом, карбонатами, серицитом, тальком и внутренней – существенно кварц-карбонатной. Соотноше-

ние изотопов углерода и кислорода в кальцитах таких метасоматитов Сергеевского месторождения подчиняется зональности: в направлении от внешней зоны к промежуточной и далее к центральному ядру наблюдается увеличение значений  $\delta^{13}\text{C}$  и снижение значений  $\delta^{18}\text{O}$  (Приложение). Доломит по сравнению с кальцитом почти всегда обогащен тяжелым изотопом углерода при относительно широком диапазоне значений  $\delta^{18}\text{O}$  (рис. 2 а).

**Таблица 1.** Состав карбонатов золоторудных проявлений Сергеевского месторождения.

**Table 1.** Composition of carbonates of gold ore occurrences at the Sergiivske deposit.

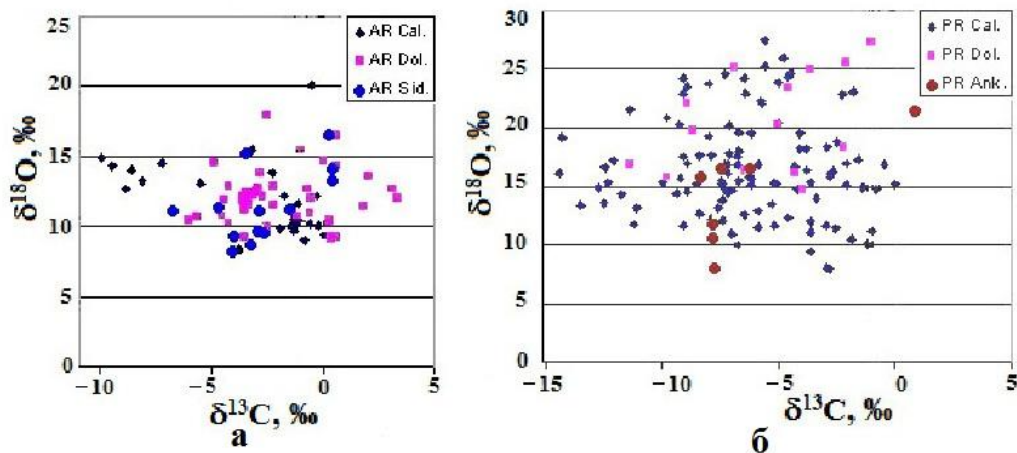
№	Минерал	Количество образцов	Ca	Mg	Fe	Mn
			Формульные коэффициенты			
<b>Стратиформные метасоматиты с колчеданным оруденением. Фланги месторождения.</b>						
1	Fe доломит	6	0.41-0.59	0.20-0.34	0.13-0.24	0.01-0.03
<b>Апобазиты с проявлением пропилитизации. Зона 0.</b>						
2	Кальцит	2	0.97	0.01	0.01	0.01
<b>Апобазитовые сланцы вблизи зоны амфиболовых метасоматитов. Зона 0.</b>						
3	Кальцит	2	0.97-0.98	0.01	0.01	0-0.01
<b>Хлоритолиты внешних частей зоны амфиболовых метасоматитов. Зона 1.</b>						
4	Кальцит	3	0.97-0.98	0.01	0.01	0-0.01
5	Кальцит	2	0.99-1.00	0	0	0
6	Fe доломит	2	0.50	0.38-0.39	0.10-0.11	0.01
7	Mg кальцит	1	0.93	0.06	0.01	0
8	Кальцит	1	0.98	0.01	0.01	0
9	Fe доломит	1	0.52	0.44	0.04	0
<b>Зона собственно кварц-карбонат-амфиболовых метасоматитов. Зона 2.</b>						
10	Кальцит	12	0.96-0.99	0-0.02	0-0.02	0-0.01
11	Fe доломит	1	0.50	0.40	0.09	0.01
<b>Кварц-карбонатное ядро (внутренняя зона амфиболовых метасоматитов). Зона 3.</b>						
12	Кальцит	10	0.95-0.98	0.01-0.02	0.01-0.02	0-0.02
13	Fe кальцит-анкерит	1	0.86	0.04	0.09	0.01
<b>Апобазитовые березиты рудопроявления Балка Золотая.</b>						
14	Fe доломит-Mg анкерит	1	0.44	0.28	0.27	0.01

Состав карбонатных фаз определен с помощью микроанализаторов MAP-1 (ИГМР НАН Украины) и ICXA-733 (ЦТО НАН Украины). Зональность: Зона 0 – исходные породы (эдукт). Зона 1 – хлоритолиты. Зона 2 – собственно амфиболовые метасоматиты. Зона 3 – кварц-карбонатное ядро.

Последовательность и метасоматический характер карбонатизации в ореоле становятся более понятными, если принять за основу контактово-реакционный или контактово-метасоматический скарноидный механизм формирования ореола в условиях высокомагнетизальной (железо и кальций) среды. Эту среду можно назвать питательной для роста крупных метакристаллов не только доломита и кальцита практически без примесей, но и актинолита, тремолита. Такой механизм подтверждается исследованием флюидных включений. Включения в кальците и амфиболе очень похожи между собой по размерам (7-25 мкм), фазо-

вому составу (газово-жидкие с количеством газовой фазы 10-25 %) и температуре гомогенизации. Те и другие гомогенизируются в жидкую фазу, в диапазонах температур 240-160°C для кальцита и 230-180°C для тремолита. Весьма интересно отметить наличие во включениях в кальците твердой фазы – рудных минералов, что подтверждает тот факт, что законсервированный в вакуоли флюид является рудообразующим.

Архейским кальцитам по сравнению с доломитом присущ существенно утяжеленный кислород и облегченный углерод.



**Рис. 2.** Изотопный состав кислорода и углерода карбонатов: **а** – архея; **б** – палеопротерозоя, включая карбонаты Криворожской сверхглубокой скважины и Севериновского месторождения урана.

**Fig. 2.** The isotopic composition of oxygen and carbon carbonates: **a** - Archean; **b** - Paleoproterozoic, including carbonates of the Kryvorizky superdeep well and Severynivsky uranium deposit

**3. Карбонаты Севериновского месторождения урана, палеопротерозой.** Все выделенные типы карбонатов Севериновского месторождения (кальцит, железистый кальцит, анкерит); генетически относятся к гидротермально-метасоматическим образованиям [7] (таблица 2). Диапазон изотопного состава углерода кальцитов зон альбитизации шире значений для кальцитов предрудных зон, что может указывать на принос углерода в процессе альбитизации (рис. 3). Среди карбонатов Севериновского месторождения доломит не обнаружен, все доломиты протерозоя представлены на рис. 3 относятся к Криворожской сверхглубокой скважине.

Вместе с тем, некоторые из приведенных значений изотопно-кислородных соотношений карбонатных составляющих, характерных для диафоритовой предрудной «подкладки» ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{smov}} = 14,0 \dots 25,0 \text{ ‰}$ ), соответствуют значениям для докембрийских морских карбонатов ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{smov}} = 6,0 \dots 26,0 \text{ ‰}$  [8]), поэтому их можно отнести к исходным. Доказательством первично осадочного генезиса изученных нами карбонатов, в том числе архейских, является близость их  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  к диапазону известных значений архейских и протерозойских морских карбонатов [8].

Карбонатная «подкладка» тектоно-метасоматических зон заложилась одновременно со структурной основой в период смены пластических

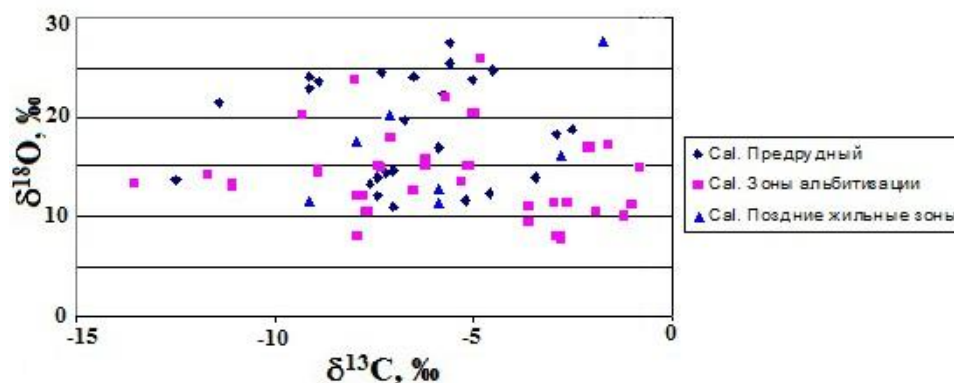
деформаций хрупкими с последующим диафорезом метаморфической толщи при температуре 70-150°C. Дальнейшая эволюция карбонатообразования протекала в температурном диапазоне до 252-301°C в ходе эпитепимального процесса как по типу непрерывного гидротермально-метасоматического рециклирования ранее отложенного вещества (в основном первично-осадочного карбонатного материала), так и в ходе поступления в зону глубинного, прошедшего гомогенизацию, материала.

Протерозойским карбонатам по сравнению с архейскими присущ более широкий диапазон значений изотопного состава кислорода, при облегченном изотопном составе углерода (рис. 2 а, б).

Рассчитанный изотопный состав кислорода воды рудообразующего флюида зависит от степени его равновесия с вмещающими породами [9]. Изотопно-тяжелая вода является показателем длительного взаимодействия воды с породой в системе, т.е. консервации воды в вакуолях. И наоборот, облегченная, типично метеорная вода характерна для карбонатов жильных зон, «залечивших» древние каналы фильтрации флюидов. На этой основе возможен принципиально новый подход к изучению динамики флюида в рудообразующих системах конкретных месторождений.

**Таблица 2.** Типы карбонатов Севериновского месторождения урана.  
**Table 2.** Types of carbonates of the Severynivsky uranium deposit.

Карбонат	Тип карбоната	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	T°C	$\delta^{18}\text{O}$ воды
Кальциты предрудные					
Кальцит-1	Прожилково-вкрапленный в диафторитах	-11.4...-2.5	18.8...27.5	70-150	-1.0..6.3
Кальцит-2	Жильные зоны в диафторитах, милонитовых швах	-7.6...-7.0	11.0...14.7	120	-4.0..-0.3
Кальциты зоны альбитизации					
Кальцит-3	Прожилки, гнезда в альбитизированных диафторитах	-9.3...-2.9	17.8...26.0	237	8.8..9.3
Кальцит-4	Прожилково-гнездовый, жильный в альбититах	-13.5...-0.8	13.2...15.7		
Анкерит кальцит-5	Гнездовый продуктивной ассоциации	-7.9...-6.5	8.1...12.6	252-301	0.8..2.5
Кальцит-6	Жильный, пострудный в альбититах по диафторитам	-6.5...-1.6	16.9...24.2	112	1.0..2.0
Кальцит-7	Прожилково-гнездовый в альбититах с диафторезом	-5.2...-1.0	9.5...12.4	124-165	-3.0..0.1
Кальцит-8	Жильные зоны в альбититах без диафтореза.	-2.9...-1.2	8.0...10.0	210	-1.0..1.0
Кальциты поздних жильных зон					
Кальцит-9	Жильные зоны в дайковых базитах постальбититовых	-7.9...-2.8	16.0...20.2	103-127	-1.0..2.5
Кальцит-10	Жильные зоны в дайковых базитах постальбититовых	-9.1...-5.2	11.5...12.9	144	-1.6..-0.9



**Рис. 3.** Изотопный состав кислорода и углерода кальцита Севериновского месторождения урана (палеопротерозой).

**Fig. 3.** The isotopic composition of oxygen and carbon of calcite of the Severynivsky uranium deposit (Paleoproterozoic)

### Выводы.

1. Генетически карбонаты всех изученных участков докембрия Украинского щита обнаруживают признаки первично осадочных (исходных) карбонатных образований, которые в той или иной степени испытали влияние гидротермально-метасоматических процессов.

2. Температурные условия образования изученных карбонатов, определенные на основе гомогенизации флюидных включений, свидетельствуют о смене режима карбонатообразования от прогрессивного в диапазоне температур: 70-150°C (диафторез) – 220-300°C (метасоматоз) на регрессивный: до 180-80°C (поздние жилки).

3. Протерозойским карбонатам по сравнению с подавляющим большинством архейских присущ существенно утяжеленный изотопный состав кислорода и облегченный – углерода.

4. В архее кальциту по сравнению с доломитом присущи существенно утяжеленный кислород и облегченный углерод.

5. Диапазон изотопного состава углерода кальцита зон альбитизации Севериновского месторождения шире значений для кальцита предрудных зон, что может указывать на принос углерода в процессе альбитизации.

## Литература.

1. Карбонатные породы Украинского щита. Отв. редактор Щербак И.Б. Наукова думка. Киев. 1975.150 с.
2. Курлов Н.С., Белевцев Р.Я.. Рудно-метасоматическая зональность по разрезу Криворожской сверхглубокой скважины (СГ- 8). *Геохімія та екологія. Збірник наукових праць ІГНС НАН України*. Київ, 2002. Вип. 5/6. с. 133-144.
3. Курлов Н.С., Белевцев Р.Я., Решетняк В.В., Мечников Ю.П. Криворожская сверхглубокая скважина: значение для петрогенезиса и геоэкологии. *Минералогический журнал*. Киев, 1997. т. 19. № 5. с. 85-100.
4. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Верховцев В.Г., Борисова Н.Н. Изотопно-геохимическая зональность по материалам изучения Криворожской сверхглубокой скважины. *Геол. журнал*. 2019. № 3 с. 34-43.
5. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. Москва: Недра, 1968. 226 с.
6. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н. Изотопы углерода и кислорода в карбонатах амфиболовых метасоматитов Сергеевского месторождения золота. *Доп. НАН України*. 2007. № 1. С. 136-142.
7. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Природа карбонатов Северинского месторождения урана (Украинский щит). *Геохімія та екологія. Збірник наукових праць ІГНС НАН України*. Київ, 2002. Вип. 5/6. с. 124-132.
8. Shields, G.A. and Veizer, J., *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (an electronic journal of the earth sciences)*. 2002, Vol.3, №6, P. 1-12, (10.1029/2001GC000266).

9. Перспективи розвитку уранової сировинної бази ядерної енергетики України. Лисиченка Г.В., Верховцева В.Г. Київ: Наукова думка. 2014. 355 с.

## References

1. Shcherbakov I.B. (1975), Naukova Dumka. Kiev. P. 150.
2. Kurlov N.S., Belevtsev R.Ya., Mechnikov Yu.P. (2002). *Zbirnik naukovih prac IGNS NAN Ukraini*. Kyiv. Vip. 5/6. pp. 133-144.
3. Kurlov N.S., Belevtsev R.Ya., 1997. *Mineralogicheskij zhurnal*. Kyiv, 19. № 5. pp. 85-100.
4. Fomin Yu.A., Demihov Yu.N., Verhovtsev V.G., Borisova N.N. (2019). *Geol. zhurnal*. № 3 pp. 34-43.
5. Galimov E.M. (1968). *Geokhimiya stabilnykh izotopov ugleroda*. Moskva: Nedra. P. 226.
6. Fomin Yu.A., Demihov Yu.N. (2007). *Dop. NAN Ukraini*. № 1. pp. 136-142.
7. Fomin Yu.A., Demihov Yu.N., Lazarenko E.E., Terechenko S.I. (2002). *Geokhimiya ta ekologiya. Zbirnik naukovih prac IGNS NAN Ukraini*. Kyiv, Vip. 5/6. pp. 124-132.
8. Shields, G.A. and Veizer, J. (2002). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (an electronic journal of the earth sciences)*, Vol.3, № 6, pp. 1-12, (10.1029/2001GC000266).
9. Lisichenka G.V., Verhovtseva V.G. (2014). Kyiv: Naukova dumka, P. 355.

## Приложение. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов рудных месторождений. Архей – палеопротерозой. Центральная часть Украинского щита.

### 1.

Криворожская сверхглубокая скважина (архей – палеопротерозой)				
Глееватская свита. Палеопротерозой. 165–1509 м				
Глубина, м	Вмещающая порода	Минерал, морфология	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰
169	Метапесчаник	Карбонат жильный	-8,4	17,7
169	То же	Карбонат, прожилок	-6,8	16,8
198	Метаконгломерат	Кальцит, галька	-8,4	12,7
286	То же	Кальцит, галька	-4,6	24,4
294	То же	Кальцит жильный	-1,8	23,1
306,5	То же	Карбонат, галька	-9,8	20,9
318	То же	Доломит, линза. Метасоматоз	-6,9	25,1
322	То же	Кальцит жильный	-7,6	13,1
332	То же	Fe доломит, галька. Деформация	-2,2	18,3
342,5	То же	Кальцит, галька. Деформация	-4,1	18,2
349	То же	Кальцит жильный	-0,5	16,8
358,9	То же	Кальцит, галька. Деформация	-3,8	16,4
382	То же	Кальцит, галька. Деформация	-3,8	18,2
441	То же	Кальцит, линза. Метасоматоз	-3,6	12,0
448	То же	Кальцит жильный	-2,1	15,1
450	То же	Доломит, линза	-4,3	16,1
461	То же	Кальцит жильный	-1,4	14,9
469	То же	Кальцит жильный. Метасоматоз	-4,3	16,7
512	То же	Fe доломит, галька. Метасоматоз	-1,0	27,3
512,4	То же	Fe доломит, галька	-3,6	25,0
547	То же	Доломит, галька	-4,6	23,4
582	То же	Fe доломит, галька	-8,9	22,1
595,9	То же	Карбонат, галька	-6,4	23,0
636	То же	Карбонат, галька. Деформация	-4,1	19,5
652,2	То же	Fe доломит, (галька, линза)	-2,1	25,6
652,4	То же	Fe доломит. Метасоматоз	-4,0	14,8
677	То же	Карбонат, галька. Деформация	-2,3	22,9
744,5	То же	Анкерит жильный	-6,3	16,4
805,6	То же	Доломит переотложенный, линзы	-5,0	20,3

855	То же	То же, кальцит	-6,8	10,0
885	То же	Кальцит, галька. Деформация	-2,7	16,3
928 (1)	Метапесчаник	Гнездово-жильный кальцит	-12,4	16,6
928 (2)	То же	Кальцит в зоне дробления	-8,9	17,0
928 (3)	То же	Кальцит в зоне дробления	-14,4	16,2
980	То же	Анкерит-сидерит жильный, смятие	-7,4	16,7
1006	То же	Fe доломит жильный	-11,4	16,9
1012	То же	Fe карбонат жильный	-9,8	15,8
1080	То же	Анкерит жильный	-8,3	15,8
1115	Метаконгломерат	Кальцит жильный	-4,2	14,8
1123	То же	Кальцит жильный	0	15,2
1153	То же	Доломит жильный	-8,7	19,7
1156	То же	Кальцит жильный	-10,0	15,3
1210	Метапесчаник	Кальцит прожилок	-12,7	14,9
1213	Метапесчаник	Кальцит цемент брекчий	-14,3	19,2
1424,7	То же	Кальцит жильный	-7,2	16,8
<b>Гданцевская свита. Палеопротерозой. 1499–1823 м</b>				
1499,3	Сланец с графитом	Кальцит жильный	-8,0	19,3
1708	Сланец В1-Gr	Анкерит жильный	-9,1	17,5
1767	Сланец хлоритовый	Кальцит жильный с графитом	-12,3	15,3
1800-1810	Сланец с графитом	Графит-кальцитовый щебень	-7,3	16,8
1814	Сланец с графитом	Кальцит с графитом	-6,2	19,5
1815	Сланец с графитом	Кальцит с примесью графита	-6,3	15,8
1819,9	Сланец с графитом	Кальцит с примесью графита	-2,8	15,8
1820	Сланец с графитом	Кальцит с примесью графита	-3,6	15,4
<b>Саксаганская свита. Палеопротерозой. 1823–2015 м</b>				
1823	Джеспилит	Кальцит, цемент брекчий	-7,5	15,5
1823	Джеспилит	Fe карбонат, сидерит	0,8	21,6
1871,2	Сланец хлоритовый	Кальцит жильный	-6,8	17,5
2010	Доломит, прослой	Fe доломит	-6,4	16,3
2010 – 7	Сланец кремнистый	Карбонат слоистый	-5,2	15,2
2012	Гранатовый сланец	Карбонатный прослой	-5,2	15,3
<b>Скелеватская свита. Палеопротерозой. 2070–2151 м</b>				
2080	Кварцито-сланцы	Прожилки кальцита	-6,7	18,0
2112,6	То же	Жилки кальцита	-6,7	15,5
2112	То же	Кальцит жильный	-5,2	15,2
<b>Новокриворожская свита. Палеопротерозой. 2151–2273 м (Изотопный возраст составляет 1966-2183 млн. лет. Д.Н. Шербак)</b>				
2219,7	Метабазиты	Прожилок кальцита	-7,2	16,2
<b>Латовская свита. палеопротерозой. 2273–2364 м (карбонаты отсутствуют)</b>				
<b>Днепропетровский комплекс. Архей. 2364–3260 м</b>				
2424,7	Граниты, диафторез	Жильный кальцит	-7,2	14,5
2720	То же	Жильный кальцит	-8,6	14,0
2887	То же	Карбонат железистый, жилка	-9,9	14,9
<b>Тектонические клинья, возможно, гданцевская свита, палеопротерозой. 2900–3000 м</b>				
2908,4	Тектонический	Карбонатная порода с графитом	-9,4	14,4
2938,5	Клин	То же	-12,1	17,2
2938,5	То же	То же	-9,2	15,7
2955,8	То же	То же	-8,5	15,2
2958	То же	То же	-11,2	11,8
<b>Днепропетровский комплекс. Гранитоиды, участок амфиболитов. Архей.</b>				
3038,8	Гранит, диафторез	Кальцит жильный с гематитом	-8,1	13,3
3253,5	Гранитоиды	Карбонат жильный, граниты	-9,4	14,3
3480,9	Амфиболиты	Кальцит жильный, амфиболиты	-8,8	12,7

2.

<b>Севериновское месторождение урана (палеопротерозой)</b>				
Глубина, м	Порода	Минерал	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰
<b>Скв. 1275. Надрудная зона.</b>				
152,0	Мигматит, диафторез, метасоматоз	Кальцит-6 жильный	-2,1	17,0
172,5	Мигматит, альбитизация	Кальцит-4 жильный	-5,3	13,5
195,0	Альбитит по мигматиту	Кальцит-6 жильный	-1,6	17,3
<b>Скв. 867. Надрудная зона</b>				
200,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-9,1	23,0

238,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-9,1	24,2
308,0	Мигматит диафторированный	Кальцит-1 жильный	-11,4	21,6
387,0	Альбитит по милониту	Кальцит-6 жильный	-5,0	20,4
445,0	То же, диафторез, брекчирование	Кальцит-7 цемент	-4,6	12,4
445,5	То же, диафторез, брекчирование	Кальцит-6 цемент	-5,9	16,9
493,0	То же, диафторез, брекчирование	Кальцит-6 жильный	-6,5	24,2
538,0	Альбитит по диафториту	Кальцит-7 гнездо	-3,0	11,6
<b>Горизонт 530 м, Рудная зона</b>				
153	Альбитизированный диафторит	Кальцит-4 гнезда	-0,8	14,8
166	Альбитизированный диафторит	Кальцит-3 жильный	-8,0	23,8
168	Мигматит диафторированный	Кальцит-2 жильный	-7,4	13,9
169	Мигматит диафторированный	Кальцит-2 жильный	-7,4	12,1
170	Диафторит по мигматиту	Кальцит-2 жильный	-7,6	13,2
171	Диафторит по мигматиту	Кальцит-2 жильный	-7,2	14,4
<b>Горизонт 620 м, Рудная зона</b>				
4-1	Альбитит рудный, Диафторез	Кальцит-5 гнезда	-2,6	11,4
4-2	Альбитит рудный, Диафторез	Кальцит-7 жильный	-6,5	12,6
6	Альбитит рудный, Милонит	Анкерит-5 гнезда	-7,9	8,1
13	Альбитит рудный по гнейсу	Кальцит-8 жильный	-2,8	8,0
15	Мигматит альбитизированный	Кальцит-8 жильный	-1,2	10,0
20	Пикритовый пикрит	Кальцит-9 жильный	-7,9	17,7
22	Микроклинит альбитизированный	Кальцит-3 жильный	-5,7	22,0
23	Аплит альбитизированный	Кальцит-8 жильный	-2,9	8,1
31	Альбитит рудный по граниту	Кальцит-3 гнезда	-4,8	26,0
32	Мигматит диафторированный	Кальцит-3 жильный	-2,9	18,3
39	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-5,0	23,9
40-1	Диафторит по милониту	Кальцит-1 жильный	-5,8	22,3
40-2	Диафторит по милониту	Кальцит-1 жильный	-4,5	24,7
42	Альбитит рудный, Диафторез	Кальцит-5 гнезда	-7,9	12,2
45	Альбитит по милониту	Кальцит-3 гнезда	-9,3	20,3
47	Мигматит диафторированный	Кальцит-1 прожилки	-5,6	27,5
49-2	Альбитизированный диафторит	Кальцит-3 жильный	-7,1	17,8
52	Диабазовый порфирит	Кальцит-9 жильный	-7,1	20,2
61	Альбитит по диафториту	Анкерит-5 гнезда	-7,8	12,1
62	Альбитит по диафториту	Анкерит-5 гнезда	-7,7	10,5
68	Пикритовый порфирит	Кальцит-10 жильный	-5,9	11,5
69-1	Пикритовый порфирит	Кальцит-9 жильный	-2,8	16,0
69-2	Пикритовый порфирит	Кальцит-10 жильный	-5,9	12,9
72	Альбитизированный диафторит	Кальцит-4 жильный	-5,1	15,2
<b>Горизонт 710 м, Рудная зона</b>				
133	Альбитит рудный, Диафторез	Кальцит-7 гнезда	-1,0	11,2
145	Альбитизированный диафторит	Кальцит-4 гнезда	-8,9	14,5
<b>Скв, 869, Подрудная зона</b>				
1047,0	Альбитит по мигматиту диафторез	Кальцит-7 гнезда	-1,9	10,5
1255,0	Альбитит по мигматиту диафторез	Кальцит-4 гнезда	-6,2	15,7
1307,0	Альбитит по гнейсу, диафторез	Кальцит-7 гнезда	-3,6	9,5
1870,0	Альбитит по граниту, диафторез	Кальцит-4 гнезда	-	22,7
<b>Скв, 3002, Корневая зона</b>				
1938,0	Альбитит по мигматиту диафторез	Кальцит-7 гнезда	-3,6	11,1
2035,0	Альбитит по аплиту, катаклаз	Кальцит-4 гнезда	-7,3	14,8
2147,0	Альбитит по мигматиту диафторез	Кальцит-4 гнезда	-11,7	14,3
2162,0	То же	Кальцит-4 гнезда	-13,5	13,4
2170,0	То же	Кальцит-4 гнезда	-6,2	15,1
2371,0	Альбитит мигматита, катаклаз	Кальцит-4 гнезда	-11,1	13,2
2371,0	Альбитит мигматита, катаклаз	Кальцит-4 гнезда	-7,4	15,2
<b>Скв, 869, Всячий бок зоны (безрудный блок пород)</b>				
191,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-8,9	23,5
256,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-5,6	25,3
302,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-6,7	19,6
339,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-2 жильный	-7,0	11,0
512,0	Диафторированный мигматит	Кальцит-4 жильный	-3,4	14,0
552,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-1 жильный	-2,5	18,8
608,0	Диафторит по мигматиту	Кальцит-7 жильный	-5,2	11,7

662,0	Диафорит по мигматиту	Кальцит-3 гнезда	-7,3	24,6
787,0	Диафорированный, гнейс	Кальцит-2 жильный	-7,0	14,7
959,0	Пикритовый порфирит	Кальцит-10 жильный	-9,1	11,6
1007,0	Диафорит по мигматиту	Кальцит-4 гнезда	-12,5	13,6

3

<b>Месторождения золота, Зеленокаменные структуры, Архей,</b>				
<b>Глубина м</b>	<b>Порода</b>	<b>Минерал</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}</math>, ‰</b>	<b><math>\delta^{18}\text{O}</math>, ‰</b>
<b>Сергеевское месторождение, Золото-колчеданный тип руд, Скви, 0736</b>				
177,6	Сланец кварц-альбит-хлорит	Fe доломит	-2,2	12,9
177,7	Метатиф дацитового состава	Fe доломит	-1,0	15,4
272,5	Лиственито-березит по туфу	Гнезда Fe доломита	-0,7	12,7
282,0	Кварцито-сланец с колчеданом	Fe доломит, полосы	-1,1	10,8
297,7	Карбонатная фация сланцев,	Fe доломит, полосы	-0,6	11,0
299,0	Сланцы грубополосчатые, пирит	доломит Fe –анкерит	0	14,7
<b>Сергеевское месторождение, Золото-висмут-теллурические руды в зональных кварц-карбонат-амфиболовых метасоматитах,</b>				
№ 6	Апобазитовые сланцы, внешняя часть зоны	Кальцит жильный	-1,3	9,7
То же	То же	Кальцит жильный	-1,1	11,6
№ 7	Хлоритолиты, внешняя часть зоны	Доломит м/з	1,8	11,4
То же	То же	То же	0,6	9,2
№ 8	То же	Доломит к/з	3,1	12,7
№ 9	Хлоритолиты, внешняя часть зоны	Кальцит полосчатый	-1,7	12,2
№ 10	То же	Кальцит к/з жильный	-1,2	10,3
196/286,2	Амфиболовые метасоматиты, промежуточная зона	Кальцит	-1,4	10,1
То же	То же	То же	-1,3	10,6
184/184-186	То же	То же	-0,2	10,1
199/238,2	То же	То же	-0,3	12,2
№ 12	Амфиболовые метасоматиты, промежуточная зона	Кальцит метасоматоз	-1,1	10,5
То же	То же	То же	-0,8	9,0
№ 13	Амфиболовые метасоматиты, промежуточная зона	Кальцит жильный	-1,9	9,9
То же	То же	То же		10,5
№ 14	Брекчия метасоматита, внутренняя зона	Кальцит в цементе	-1,2	10,3
№ 15	Карбонатная ткань, внутренняя зона	Кальцит м/з	0	9,4
№ 16	То же	Доломит кристаллы	3,3	12,0
№ 17	Амфиболовые метасоматиты	Анкерит-доломит	0,6	14,3
204/375,5	Амфиболовые метасоматиты	Доломит	0,6	16,4
203/195,2	Амфиболовые метасоматиты	То же	2,0	13,6
193/311,8	Амфиболовые метасоматиты	То же	0,4	9,2
№ 19	Амфиболовые метасоматиты	Доломит	0,3	10,4
То же	Амфиболовые метасоматиты	То же	0,3	10,5
0701/226,9	Кварц-карбонатное ядро, внутренняя зона	Кальцит	-0,6	10,2
193/310,8	То же	Доломит	-0,5	12,0
193/311,8	То же	Доломит	0,4	9,1
<b>Месторождение Балка Широкая, Золото-железистый тип руд</b>				
<b>Скви, 3230</b>				
227-228	Листвениты в хлоритовых сланцах,	Сидероплезит	-2,8	13,8
То же	То же	То же	-2,9	12,8
То же	То же	То же	-2,7	12,1
То же	То же	То же	-3,4	12,4
То же	То же	То же	-3,3	11,5
То же	То же	То же	-3,6	12,1
То же	То же	То же	-3,3	12,1
<b>Скви, 3261</b>				
116,5	ВIF Кв-карб с пиритом жила	Сидероплезит мета,	-3,5	9,2
267,5-267,7	ВIF Брекчии кварцитов	То же, цемент брекчий	-5,6	10,7
268,0	ВIF Кварц-карбонатная жила	Сидерит	-4,7	11,4
273,8-274,0	ВIF, березитизация	Сидероплезит жила	-2,5	18,0
278,5-278,6	Кварцито-сланцы	Сидероплезит жила	-3,5	11,2



Скв. 4128				
136,6	Железистый сланец, березит	Железистый карбонат	0,4	14,2
136,9	Брекчий сланца, березит	То же, цемента, м/з	0,3	16,8
То же	То же	То же, к/з	0,4	13,5
138,6	Хлорит-карбонатный сланец	То же, карбонат к/з	-2,7	9,9
139,8	Хлорит-карбонатный сланец	Доломит-сидероплезит	-2,5	10,0
146,2	Железисто-кремнистый сл.	Карбонат в полосах	-1,5	11,2
179,5	Хлорит-карбонатный сланец	Перекристаллизация	-2,3	13,8
198,0	Хлорит-карбонатный сланец	То же, сульфиды	-3,8	8,5
207,0	Карбонатная порода, прослой	Перекристаллизация	-5,5	13,1
217,0	Хлорит-серицитовый сланец	Карбонат	-3,1	12,5
То же	То же	Исходный карбонат	-0,5	20,1
240,4	Кварц-карбонатный сланец	Бурый сидероплезит	0	14,6
То же	с магнетитом	Карбонатная масса	-4,9	14,5
336,2	Слюдистый сланец с тальком	Сидероплезит т/з,	-3,4	11,9
То же	То же (ультрабазит)	То же белый, к/з	-3,0	12,5
428,5	Дацитовый порфир,	Fe карбонат жильный	-6,8	11,3
451,1-451,3	Метабазит, пропилизация	Fe карбонат жильный	-3,3	8,9
465,4	Метабазит, пропилизация	Fe карбонат жильный	-2,8	9,8
540,0	Метабазит, жила дацита	Fe карбонат жильный	-2,9	11,2
570,6	Брекчия ВІF	То же, по трещинам	-4,0	8,5
570,9	Железистый сланец, березит	То же, метасоматоз	-1,4	11,4
613,9	Метабазит измененный	Fe карбонат жильный	-3,9	9,2
Месторождение Балка Широкая, Золотополиметаллический тип руд				
Скв. 3238				
118,6	Апобазитовый сланец	Доломит	-4,2	10,3
124,6	Сланцы с жильной зоной	Доломит жильный	-6,0	10,5
224,5	Березит зональный	Анкерит метасоматический	-3,4	15,5
То же	То же	Кальцит жильный	-3,2	15,5
Скв. 3264				
137,7	Березит по кварцито-сланцу	Зона доломита	-3,6	12,0
158,0-158,1	То же	Доломит, гнезда	-4,4	11,9
185,3	То же	Доломит метасоматический	-3,6	12,1
198,6-198,8	То же	Доломит, ядро зоны	-4,5	10,8
211,0-211,2	Березит рудный, сульфиды	Доломит метасоматический	-3,6	11,8
231,2-231,5	Березит по кварцито-сланцу	То же	-2,2	11,5
Скв. 4156				
221,5	Березит по кварцито-сланцу	Доломит метасоматический	-3,1	12,3
224,5	То же	Рудная минерализация	-4,2	12,9

## КАРБОНАТИ РУДНИХ РОДОВИЩ РАНЬОГО ДОКЕМБРИО ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Ю.О. Фомін, к. геол.-мін. наук, п. н. с., ДУ «ІГНС НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-3043-8359>, yaf1941@gmail.com

Ю.М. Деміхов, к. геол.-мін. наук, с. н. с., зав. лаб, ДУ «ІГНС НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-3576-6570>, y\_demikhov@ukr.net

В.Г. Верховцев, д.к.н, с.н.с, зав. Від., ДУ «ІГНС НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-1015-6725>, Verkhovtsev@ukr.net

Н.М. Борисова, пр.інж., ДУ «ІГНС НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-7169-1430>, IGNS\_Borysova@nas.gov.ua

С.Ф. Чупринова, пр.інж., ДУ «ІГНС НАН України», <https://orcid.org/0000-0002-1466-9333>, IGNS\_Chuprynova@nas.gov.ua

У статті наведено результати вивчення ізотопного складу кисню і вуглецю карбонатів в рудних родовищах раннього докембрію Українського щита. Вивчено наступні об'єкти: 1. Залізорудні утворення Криворізької надглибокої свердловини, де карбонати виділені з усіх підрозділів криворізької серії палеопротерозою, а також з архейських порід дніпропетровського комплексу. 2. Уранові руди і породи, що їх вміщують Северинівського родовища ураново-альбіттові формації палеопротерозойського віку. 3. Золоторудні родовища архейських зеленокам'яних структур Придніпров'я, в тому числі: Сергіївське (Au-колчеданні і Au-Bi-Te руди) і Балка Широка (Au-залізисті і Au-Ag-Pb-Zn руди). Генетично карбонати ділянок, що порівнюються, виявляють ознаки первинно осадових карбонатних утворень, які зазнали впливу гідротермально-метасоматичних процесів. Температурні умови їх утворення свідчать про зміну режиму карбонатування від прогресивного в діапазоні температур 70-150 °C (діафорез) - 220-300 °C (метасоматоз) на регресивний: до 180-80 °C (пізні жилки). Протерозойським карбонатам у порівнянні з архейськими притаманні істотно більш важкий кисень і полегшений вуглець, Скарнійний механізм формування рудного ореолу в умовах високо магнезійного середовища пояснює послідовність і метасоматичний характер карбонатизації. Середовище і умови мінералоутворення сприятливі для зростання великих метакристалів доломіту, кальциту, актиноліту і тремоліту; що підтверджується дослідженням флюїдних включень. Наявність у включеннях в кальциті рудних мінералів, вказує на рудоутворюючий характер вивченого флюїду. Серед гранітоїдів дніпропетровського комплексу відзначаються ділянки аналогічні графіт-карбонатним породам гданцівської світи, в тому числі і за ізотопним складом, які характеризуються інтенсивними тектонічними порушеннями. У таких зонах розширення спостерігається істотне падіння температури. Все це дає підставу припустити наявність в цьому районі Кривбасу системи великих скидань (тектонічних клинів) із зануренням фрагментів, складених породами криворізької серії у більш древні гранітоїди.

**Ключові слова:** архей, палеопротерозой, родовища урану і золота, карбонати, ізотопний склад, Український щит, архейські зеленокам'яні структури.

## CARBONATES OF ORE DEPOSITS OF PRECAMBRIAN OF THE CENTRAL PART OF THE UKRAINIAN SHIELD

**Fomin Yu.O.**, PhD (Geol-min), leading researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-3043-8359>, [yaf1941@gmail.com](mailto:yaf1941@gmail.com)

**Demikhov Yu.M.**, PhD (Geol-min), senior research fellow, head of the laboratory, SI State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-3576-6570>, [y\\_demikhov@ukr.net](mailto:y_demikhov@ukr.net)

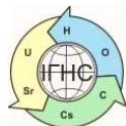
**Verkhovtsev V.G.**, D. (Geol.S), senior research fellow, head of department, SI State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-1015-6725>, [Verkhovtsev@ukr.net](mailto:Verkhovtsev@ukr.net)

**Borisova N.M.**, Lead Engineer, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-7169-1430>, [IGNS\\_Borysova@nas.gov.ua](mailto:IGNS_Borysova@nas.gov.ua)

**Chuprinova S.F.**, Lead Engineer, SI State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», <https://orcid.org/0000-0002-1466-9333>, [IGNS\\_Chuprynova@nas.gov.ua](mailto:IGNS_Chuprynova@nas.gov.ua)

*The article presents the results of study of the isotopic composition of oxygen and carbon of carbonates in ore deposits of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. The following objects were studied: 1. Iron ore formations of the Kryvyi Rih ultra-deep well, where carbonates were extracted from all units of the Kryvyi Rih Paleoproterozoic series, as well as from the Archean rocks of the Dnipropetrovsk complex. 2. Uranium ores and host rocks of the Severynivsky deposit of the uranium-albite formation of the Paleoproterozoic age. 3. Gold deposits of Archean greenstone structures of the Dnieper, including: Sergiivske (Au-pyrite and Au-Bi-Te ores) and Balka Shyroka (Au-glandular and Au-Ag-Pb-Zn ores). Genetically, the carbonates of the compared areas show signs of primary sedimentary carbonate formations that have experienced the influence of hydrothermal-metasomatic processes. The temperature conditions of their formation indicate a change in the mode of carbonate formation from progressive in the temperature range of 70-150°C (diaphoresis) - 220-300°C (metasomatosis) to regressive: up to 180-80°C (late veins). Compared to Archean carbonates, Proterozoic carbonates are inherently heavier oxygen and light carbon. The scarnoid mechanism of the formation of the ore halo in a highly magnesian environment explains the sequence and metasomatic nature of carbonation. The environment and conditions of mineral formation are favourable for the growth of large metacrystals of dolomite, calcite, actinolite and tremolite; as confirmed by the study of fluid inclusions. The presence of ore minerals in inclusions in calcite confirms the ore-forming nature of the studied fluid. Among the granitoids of the Dnipropetrovsk complex, sites similar to the graphite-carbonate rocks of the Gdantsev Formation are noted, including the isotopic composition, which are characterized by intense tectonic disturbances. In such zones of decompression, a significant drop in temperature is observed. All this suggests that there is a system of large faults (tectonic wedges) in this region of Kryvbass, with the immersion of fragments composed of rocks of the Kryvyi Rih series into more ancient granitoids.*

**Key words:** Archean, Paleoproterozoic, deposits of uranium and gold, carbonates, isotopic composition, Ukrainian shield, Archean greenstone structures.



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.123>  
УДК 550.4

**Стич О.І., Кураєва І.В., Кошлякова Т.О., Пастушак Я.І.**

**Стич О.І.**, аспірант, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, oksana.stich@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5831-6652>

**Кураєва І.В.**, докт. геол. н, зав. відділу, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, K14412674@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

**Кошлякова Т.О.**, канд. геол. н, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, geol@bigmir.net, <https://orcid.org/0000-0001-8551-3531>

**Пастушак Я.І.**, аспірант, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, slavirius1994@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3098-2979>

## **ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ОБ'ЄКТАХ ДОВКІЛЛЯ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ПІРЯТИНСЬКИЙ»**

У статті представлено результати комплексних досліджень ґрунтів та рослинності заповідних територій України щодо вмісту в них мікроелементів (Pb, Cu, Zn, Y, Ba, Cr, Ni, Mn, Co, Mo) на прикладі Національного природного парку «Пирятинський». При виконанні роботи вивчалися ґрунти – світло-сірі легкогумусові ґрунти, чорноземи типові малогумусові на лесах, чорноземи опідзолені середньогумусові, дерново-підзолисті ґрунти; рослинність – вільха (Blnus), ялина європейська (Pnsea bbies), осока тонкокореневищна (Carex chordorrhiza), осока житня (Carex secalina). Ґрунтуючись на фізико-хімічних методах дослідження (атомно-абсорбційному, мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою) було виявлено закономірності розподілу основних форм знаходження мікроелементів, а також їх рухливі форми в залежності від фізико-хімічних властивостей ґрунтів заповідної території. Визначення форм знаходження важких металів у ґрунтах здійснювалося методом поетапних витяжок, фракційний склад ґрунтів досліджувався за допомогою гранулометричного методу, а для визначення мінерального складу було застосовано рентгенофазовий метод. Для території досліджень встановлено залежності між виявленими формами важких металів у ґрунтах та фракціями ґрунтового гумусу. Міграційна здатність рухливих форм важких металів у профічному ланцюжку ґрунти-рослинність оцінювалась з позиції потенційної буферної здатності хімічних елементів у ґрунтах. Зроблено висновок про те, що закономірності розподілу важких металів у ґрунтах досліджуваної території обумовлені їх фізико-хімічними властивостями, мінералого-геохімічними параметрами ґрунтоутворюючих порід, а також ландшафтними та техногенними умовами. На основі отриманих даних встановлено, що досліджувану територію можна вважати чистою, незабрудненою важкими металами, а представлені у статті результати мають практичне наукове значення з точки зору встановлення фонових концентрацій мікроелементів для еколого-геохімічної оцінки у об'єктах довкілля техногенно-забруднених територій.

**Ключові слова:** ґрунти, важкі метали, довкілля, форми знаходження, міграційна здатність.

**Вступ.** Заповідні території прийнято вважати еталонними, екологічно-чистими, ділянками для оцінки еколого-геохімічного стану довкілля. [1,2] Протягом останніх років дослідження заповідного фонду України набуває все більш значної актуальності для еколого-геохімічного оцінювання навколишнього середовища. Проблема дослідження екологічного стану природного середовища України в цілому і окремо ґрунтовими відкладами привертала увагу багатьох вчених, зокрема, Е.Я. Жовинського, В.В. Доліна, Л.Г. Руденка, Т.М. Сгорової, Г.І. Рудька та ін. [1,3,4,5]

Завдяки прискореним темпам антропогенної діяльності в приповерхневих шарах земної кори фіксуються помітні зміни у закономірностях розподілу мікроелементів не тільки на залучених у промисловості

чи сільськогосподарській діяльності територіях, але і на природоохоронних територіях України. [2]

**Метою** наших досліджень було встановлення закономірностей розподілу мікроелементів у ґрунтах та дерев'янистій рослинності лісостепової зони України на прикладі Національного природного парку «Пирятинський».

Об'єктами досліджень були світло-сірі легкогумусові ґрунти, чорноземи типові малогумусові на лесах, чорноземи опідзолені середньогумусові, дерново-підзолисті ґрунти та основні типи дерев'янистої рослинності.

### **Природні умови району досліджень**

Площа національного природного парку «Пирятинський» (далі – НПП «Пирятинський») – 12028,4 га.

З цієї площі 60 % – під водно-болотними угіддями, 26 % – під луками різних типів, 11 % – лісові площі, близько 3 % – водойми. Понад 60 % загальної площі розташовано на річкових заплавах.

Середньорічна температура повітря + 6,9°, амплітуда коливань – +6...+8,9°. Річна амплітуда середньомісячних температур – 27°. Середня річна кількість опадів – близько 500 мм, із них у літній період випадає 185 мм. Сніговий покрив стійкий частіше з другої половини грудня; середня тривалість покриву 102 дні; середня висота – 5–12 см.

Поверхня у районі має незначний похил на південний схід. Коливання висот: у річкових заплавах 94-102 метрів над рівнем моря (далі – м н.р.м.); надзаплавні тераси, лесовотерасні рівнини – звичайно 110-140 м н.р.м. Найбільші висоти на межирічних рівнинах у Пирятинському районі – біля 160 м н.р.м. (найвища точка району – 168 м н.р.м.).

Більша частина НПП «Пирятинський» розташована у долинах річок Удай та його приток Перевод та Руда.

Територія Національного природного парку «Пирятинський» знаходиться на північному заході геоструктурного району Дніпровсько-Донецької западини. Ця геоструктурна структура відноситься до Східно-Європейської платформи. Фундамент її складений давніми докембрійськими породами, які перекривають девонські, пермські і тріасові відклади, що під час герцинського орогенезу були опущені під води давнього моря і накопичувались як морські і пізніше – як континентальні відклади. На території почергово відбувалися процеси трансгресії, які поступово переходили в регресивні, цим самим накопичуючи як морські, так і континентальні відклади у вигляді товщ лесів, мергелів і піску.

Кристалічний фундамент залягає на глибині близько 1800-4500 м н.р.м. Кристалічні породи фундаменту представлені гранітами, гнейсами, мармурями, амфіболітами, сланцями, залізистими кварцитами, мігматитами [13].

Відклади антропогенного періоду – алювіальні, водно-льодовикові піщані та лесові. У західній частині трапляються гнейси та інші метаморфічні породи (на глибині до 400-1400 м нижче поверхні). Верхні шари, які перекривають собою палеозойські відклади, сформовані мезозойськими породами, при цьому тріасові та юрські відклади поділяються на кілька шарів. Це алевроліти, пісковики, мармур, рідко – глауконіти, кварц та глинисті піски.

У східній частині Пирятинського району є і більш давні палеогенові відклади. Четвертинні перигляціальні відклади значно відрізняються за своєю глибиною по обидва боки річки Удай, наприклад, у

західній частині НПП нижчий перигляціальний шар досягає глибини 50-80 м і віку від 1,8 млн до 0,12 млн років. Алювіальні відклади піщані, мулисті та торфові.

Рельєф території парку відноситься до ерозійного типу, сформований талими водами льодовика, річками, тимчасовими водотоками. У рельєфі помітні різновікові річкові тераси. Поширені форми рельєфу – вододільні плато, річкові долини, балки, яри, степові блюдця. Штучні форми рельєфу: штучно створені меліоративні канали, кар'єри, насипи, котловани, водосховища та ставки, греблі, дамби, кургани, насипи для автомобільних та залізничних доріг та інше. На рельєф впливали льодовикові води: вони сформували паралельно Дніпру прохідні долини, шириною до 3-4 км. Такі прохідні долини нині заболочені по днищах. Сучасні фізико-геологічні процеси у рельєфі: яружна ерозія і просідання ґрунту на лесових породах. На схилах проявляється лінійна і площинна ерозія. Спостерігаються зсувні процеси [13].

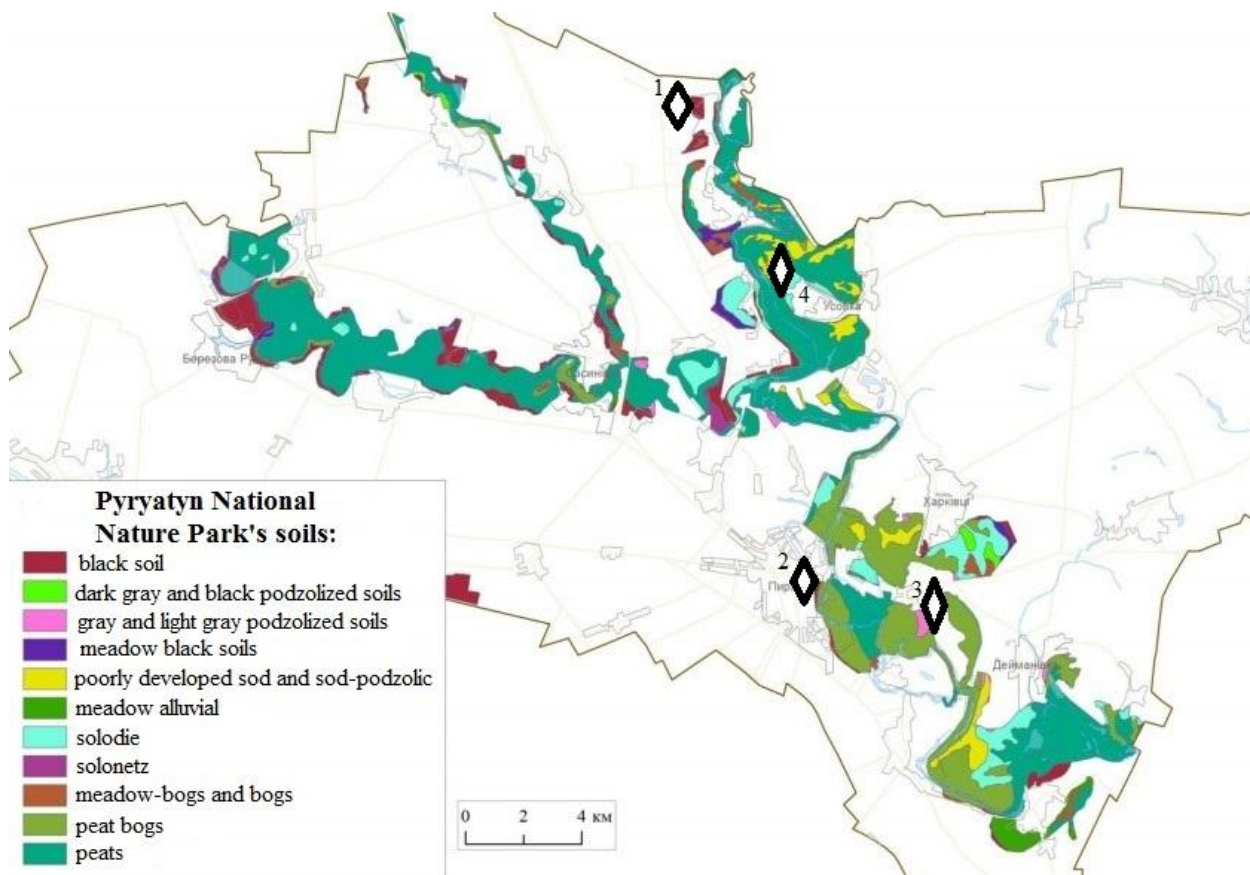
У гідрогеологічному відношенні територія досліджуваного району входить до північно-західної частини Дніпровського артезіанського басейну. Більша частина знаходиться в зоні можливого використання вод бучацького, харківського та полтавського шарів, а також вод алювіальних відкладів.

Річки Удай, Перевод і Руда, на долини яких припадає територія Парку, є річками з невеликою швидкістю течії – 0,1–0,3 м/с. Ширина русла р. Удай – 20–40 м, глибина – 2–5 м. Максимальна ширина річища р. Перевод – 15 м, Руди – 3–5 м. Заплави рр. Перевод і Руда зазнали меліорації. На дощове живлення річок припадає 50%, на снігове – 37% і на підземне – 13% (у зимовий період). Льодостав утримується звичайно 2–2,5 місяці [13].

Територія НПП «Пирятинський», відповідно до Національного атласу України Т.Г.Руденка [9], відноситься до Са, Н-Са класів ландшафтно-геохімічних систем.

Ґрунтовий покрив території НПП «Пирятинський» та пункти відбору проб ґрунту [6,7] представлено на карті-схемі 1.

Ґрунти заплав торфові солонцюваті солончакові, торфовища низинні солончакові, лучні поверхнево- та глибоко-солонцюваті солончакові суглинисті на алювії, місцями – солоді лучні солончакові суглинисті. Ґрунти надзаплавних терас і схилів – чорноземи малогумусні вилуговані або слабо змиті пилувато-суглинисті на лесових породах, чорноземи намиті пилувато-суглинисті на лесовидному делювії, дернові піщані та дерново-слабопідзолисті супіщані на пісках, місцями – солоді дернові солонцеві солончакові суглинисті на алювії [12].



**Рис. 1.** Карта-схема ґрунтового покриття НПП «Пирятинський», де 1 – пункт відбору чорноземи типові малогумусові на лесах (кількість відібраних проб (n)=20); 2 – пункт відбору чорноземів опідзолених середньогумусових (n=20); 3 – пункт відбору світло-сірих малогумусових (n=25); 4 – пункт відбору дерново-підзолистих ґрунтів (n=29).

**Fig.1.** Pyriatynskyi NNP soil map-scheme, where 1 – typical low humus on forests black soil points of selection (number of samples taken (n) = 20); 2 – meadow black podzolized soil points of selection (n = 20); 3 – light gray low humus soil points of selection (n = 25); 4 – sod-podzolic soil points of selection (n = 29).

Сучасний рослинний покрив сформувався у епоху голоцену. Згодом він був радикально змінений господарською діяльністю людини і втратив свій первісний видовий склад. На сьогоднішній день на території парку нараховується понад 1219 видів рослин.

У Парку охороняють річкові, заплавні та зональні лісостепові екосистеми [12,13].

#### **Методи дослідження**

Визначення вмісту мікроелементів у ґрунтах виконано атомно-абсорбційним методом та методом ІСР-MS аналізу. Проби для ІСР-MS аналізу розкладалися відповідно до опублікованої методики [14]. Визначення форм знаходження мікроелементів у ґрунтах здійснювалося методом постадійних витяжок [8]. Фракційний склад ґрунтів досліджувався за допомогою гранулометричного методу, а для визначення мінерального складу було застосовано рентгенофазовий метод. Фізико-хімічні показники ґрунтових відкладів визначались за методикою Арінюшкіної [10]. Для інтерпретації фактичного матеріалу застосовувались пакети статистичного аналізу MS Excel.

#### **Результати досліджень**

Фізико-хімічні показники досліджуваних ґрунтів Національного природного парку Пирятинський представлені в таблиці 1. Сума поглинених катіонів у досліджуваних ґрунтах варіюється в діапазоні від 0,2 до 17,7 мг-екв/100 г ґрунту. Середній вміст гумусу найбільший в чорноземних типових малогумусових на лесах, а найменший – у дерново-підзолистих ґрунтах.

Гранулометричний склад досліджуваних ґрунтів представлено в таблиці 2.

У мінеральному складі виділяються глиниста фракція, де переважає гідролюда, каолінит, монтморилоніт та хлорит; е органічна речовина, що знаходиться у вигляді органомінеральних комплексів у більшості у верхньому горизонті ґрунтового розрізу, а також кварц та інші компоненти. У глинистій фракції чорноземів міститься більше органічної речовини, ніж у дерново-підзолистих ґрунтах. У чорноземних типових малогумусових на лесах в глинистій фракції збільшується вміст монтморилоніту та гідролюди.

Табл. 1. Фізико-хімічна характеристика досліджуваних ґрунтів НПП «Пирятинський»

Table 1. Pyriatynskiyi NNP soil physico-chemical characteristics

Ґрунт	Горизонт	Гумус, %	Поглинені катіони, моль/кг ґрунту, $\times 10^{-2}$				рН	
			Ca	Mg	Na	K	сольовий	водяний
чорнозем типовий малогумусовий на лесах	HE	4,8	17,7	3,8	0,5	0,3	6,7	–
	E(h)	4,2	14,6	3,5	0,5	0,29	6,9	–
	IE	3	–	–	–	–	7,2	–
	P	1	–	–	–	–	7,2	–
світло-сірі мало- гумусові	HE	3,9	9,8	3,1	0,3	0,3	–	4,7
	E(h)	3,4	8,1	4,1	0,4	0,4	–	4,7
	IE	0,9	11,2	4,3	0,6	0,3	–	6,2
	P	0,4	14,6	–	0,8	0,3	–	8,1
чорноземи опідзо- лені середньогуму- сові	HE	4,7	17,4	2,9	0,3	0,4	–	6,7
	E(h)	2,8	14,9	4,1	0,3	0,5	–	6,8
	IE	1,1	15,2	3,9	0,2	0,5	–	7,4
	P	0,8	–	–	–	–	–	8,1
дерново-підзолисті ґрунти	HE	1	2,1	0,5	0,2	0,2	6,3	–
	E(h)	0,4	1	0,7	0,3	0,3	6,4	–
	IE	0,5	2,1	1,2	0,3	0,3	5,9	–
	P	0,01	3,2	0,5	0,3	0,3	5,9	–

Примітки: HE – ґрунт гумусово-іллювіальний, від темно- до світло- сірого, свіжий, легкосуглинистий, рихлий, збагачений  $\text{SiO}_2$ , густо пронизаний коріннями дерев; E(h) – іллювіальний, свіжий, легкосуглинистий, пилювато-пластинчастий, рихлий; IE – іллювіальний, темно-сірий до бурого, легкосуглинистий, свіжий; P – палевий легкосуглинистий карбонатний лес; «–» – значення не визначено.

Табл. 2. Гранулометричний склад досліджуваних ґрунтів НПП «Пирятинський»

Table 2. Pyriatynskiyi NNP soil granulometric composition

Ґрунт	Горизонт	Глибина, см	Фракція, мм					
			1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	0,001
чорнозем типовий малогумусовий на лесах	HE	0-50	0,17*	12,5	47,7	7,2	7,1	21,7
	E(h)	60-80	0,13	21,3	43,1	5,9	6,5	20,4
	IE	80-110	0,11	28,1	40	6,6	4,7	17,6
	P	120-210	0,18	24,3	40,3	5,2	5,2	20,1
світло-сірі мало- гумусові	HE	0-50	2,8	10,6	63,4	4,9	5,1	16,2
	E(h)	60-80	0,25	6,7	61,2	5,2	4,8	20,2
	IE	80-110	0,34	8,4	59,8	5,3	3,4	19,3
	P	120-210	0,42	11,5	57,2	6,1	0,9	16,5
чорноземи опідзо- лені середньогуму- сові	HE	0-50	0,03	4,4	52,8	7,9	8,1	25,1
	E(h)	60-80	0,03	6,1	53,1	8,2	7,4	24,6
	IE	80-110	0,04	3,9	51,4	7,8	7,6	23,5
	P	120-210	0,04	2,4	42,4	6,7	5,8	22,3
дерново-підзолисті ґрунти	HE	0-50	0,25	0,9	17,7	5,2	7,8	64,5
	E(h)	60-80	0,26	0,95	16,4	6,1	8,2	61,1
	IE	80-110	0,3	0,7	17,2	6,2	8,7	65,2
	P	120-210	0,25	0,1	16,4	5,3	9,2	67,3

Примітка: \* – об'ємна частка, у відсотках (%)

Встановлено, що легка фракція складена в основному з кварцу та польового шпату, присутні також мусковіт, гідрокслюда, глауконіт. Важка фракція представлена наступними мінералами: гідроксиди заліза, лейкоксен, циркон, гранат, рутит, амфіболи, піроксени, силіманіт, апатит та біотит.

Аналіз попередніх досліджень розподілу Cu, Zn, Co, Ni по гранулометричним фракціям ґрунтів показав, що досліджувані елементи концентруються в основному у важкій та глинистій фракціях ґрунтів [2].

Валовий вміст мікроелементів у ґрунтах НПП «Пирятинський» наведено в таблиці 3.

Табл. 3. Середній валовий вміст мікроелементів в ґрунтах НПП «Пирятинський»  
Table 3. Pyriatynskiy NNP soil average gross content of trace elements

Ґрунт	Горизонт	Мікроелемент, мг/кг							
		Zn	Cu	Ni	Co	Cr	V	Pb	Mo
чорнозем типовий малогумусовий на лесах	HE	25	33	8	9	65	71	4	1,4
	E(h)	30	29	8	9	67	80	5	2
	IE	46	21	11	12	93	80	11	1,3
	P	40	18	13	12	95	79	20	1
світло-сірі мало- гумусові	HE	21	15	2	2	47	29	2	1,7
	E(h)	30	16	3	3	58	35	3	1,9
	IE	38	21	3	10	65	42	12	2
	P	32	24	3	11	67	47	14	1
чорноземи опідзолені середньогумусові	HE	43	32	10	10	75	74	19	2
	E(h)	37	31	11	8	77	79	6	3
	IE	33	30	12	7	82	80	4	3
	P	31	27	11	11	83	75	17	1
дерново-підзолисті ґрунти	HE	26	13	2	8	72	23	7	11
	E(h)	23	9	3	8	61	19	5	12
	IE	19	8	2	4	41	13	5	9
	P	13	3	2	3	19	11	3	9
фон [2]		97	52	32	12	87	80	10	–

Було виконано статистичну обробку, яка полягала у встановленні закону розподілу досліджуваних вибірок, визначенні середніх арифметичних значень, вибіркового стандартного відхилення, коефіцієнтів асиметрії та ексцесу. Встановлення закону розподілу здійснювалося за «правилом трьох сигм» із використанням значень стандартного відхилення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу. У результаті проведеної статистичної обробки було встановлено, що закон розподілу для досліджуваних вибірок є нормальним.

Для ґрунтів лісостепової зони характерним є виніс Ni, V, Cr, Zr, Ga, Ba з верхніх горизонтів у нижні [2]. Міграційна здатність металів у світло-сірих та опідзолених ґрунтах проявляється в нижньому ілювіальному горизонті. У нижній частині ґрунтового розрізу на глибині до 0,5 м концентруються Ni, Cr, Zn та менше – Co, V, Cu, Pb.

За допомогою екстрагентів [8] визначено рухому форму, водорозчинну форму, іонообмінну форму та фіксовану форму знаходження важких металів у дерново-підзолистих ґрунтах. Важкі метали на досліджуваній території у дерново-підзолистих ґрунтах розподіляються наступним чином (%): у рухомій формі – Pb (4,2 – 5,8) > Zn (3,2 – 6,3) > Ni (1,2 – 2,0) > Cr (1,2 – 1,9); у фіксованій формі – Cr (91,1 – 93,2) >

Zn (80,2 – 82,4) > Cu (79,6 – 81,3) > Ni (75,8 – 77,4) > Pb (71,2 – 72,7).

Результати дослідження форм знаходження мікроелементів у ґрунтах НПП «Пирятинський» показали, що основні форми знаходження мікроелементів пов'язані з фракціями ґрунтового гумусу. Рухливість металів у ґрунтах знижується зі збільшенням вмісту гумусу та глинистої фракції, так в дерново-підзолистих ґрунтах більша частина металів пов'язана з залишковою фракцією (60 %), менша – з ґрунтовым гумусом (30 %), адсорбованою (20 %), обмінною (25 %) фракціями. У чорноземах вміст металів, пов'язаних з ґрунтовым гумусом, зростає до 60 %, але при цьому знижується їх вміст в обмінній та легко-розчинній фракціях (до 12 %).

Рухливі форми металів визначають їх міграційну здатність у трофічному ланцюжку ґрунторослинність, що в значній мірі залежить від фізико-хімічних властивостей ґрунтів [2]. Рухливість Co та Ni в чорноземах знаходяться в прямій залежності від вмісту ґрунтового гумусу, а Zn та Cu – від вмісту глинистої фракції та pH ґрунтового розчину. Вміст рухливих форм Co та Ni в дерново-підзолистих ґрунтах корелює з валовим вмістом металів та фізико-хімічними властивостями ґрунтів.

Показником рухливості хімічних елементів в ґрунтах слугує потенційна буферна здатність. Потенційна буферна здатність ґрунтів відображає можливість протидіяти зміні властивостей та складу при взаємодії хімічних речовин природного та антропогенного характеру [8, 11]. По відношенню до забруднення важкими металами в порядку збільшення потенційної буферної здатності досліджувані ґрунти НПП «Пирятинський» розташовуються у наступному порядку: світло-сірі опідзолені – дерново-підзолисті – чорноземи типові.

Закономірності розподілу важких металів в ґрунтах обумовлені їх фізико-хімічними властивостями, мінералого-геохімічними параметрами ґрунтоутворюючих порід, а також ландшафтними та техногенними умовами території.

Серед рослинності Національного природного парку «Пирятинський» досліджувались дерев'янисті типи: вільха (*Blnus*), ялина європейська (*Pnsea бbies*), осока тонкокореневищна (*Carex chordorrhiza*), осока житня (*Carex secalina*).

Дерев'яниста рослинність досліджувалась методом озолення та розчинення в кислотах.

Середні статистичні значення розподілу мікроелементів у досліджуваній дерев'янистій рослинності (мг/кг): Pb – 5; Cu –10; Zn – 20; Cr –4; Ni – 6; Mn – 200; Mo – 2.

### ***Висновки та перспективи подальших досліджень.***

На території Національного природного парку «Пирятинський» було опробовано чотири типи ґрунтів: чорноземи типові малогумусові на лесах, чорноземи опідзолені середньогумусові, ґрунти світло-сірі малогумусові, дерново-підзолисті ґрунти, а також чотири типи дерев'янистої рослинності – вільха (*Blnus*), ялина європейська (*Pnsea бbies*), осока тонкокореневищна (*Carex chordorrhiza*), осока житня (*Carex secalina*).

У результаті аналізу отриманих фактичних даних авторами було виявлено наступні закономірності розподілу мікроелементів у досліджуваних ґрунтах та їх горизонтах: Pb та Co (концентрація зростає з глибиною у чорноземах типових малогумусових на лесах і ґрунтах світло-сірих малогумусових; зменшується з глибиною у дерново-підзолистих ґрунтах; у чорноземах опідзолених середньогумусових концентрація варіює, закономірностей її зміни з глибиною не встановлено), V та Cr (концентрація зростає з глибиною у чорноземах типових малогумусових на лесах, у ґрунтах світло-сірих малогумусових і у чорноземах опідзолених середньогумусових; зменшується з глибиною у дерново-підзолистих ґрунтах), Cu (концентрація зростає з глибиною у ґрунтах світло-сірих малогумусових; зменшується з глибиною у чорноземах типових малогумусових на лесах, у чорноземах

опідзолених середньогумусових та у дерново-підзолистих ґрунтах), Ni (концентрація зростає з глибиною у чорноземах типових малогумусових на лесах і у ґрунтах світло-сірих малогумусових; у чорноземах опідзолених середньогумусових і у дерново-підзолистих ґрунтах концентрація варіює, закономірностей її зміни з глибиною не встановлено), Mo (концентрація зменшується з глибиною у дерново-підзолистих ґрунтах; у чорноземах типових малогумусових на лесах, у ґрунтах світло-сірих малогумусових і у чорноземах опідзолених середньогумусових концентрація незначно варіює, закономірностей її зміни з глибиною не встановлено), Zn (концентрація зростає з глибиною у чорноземах типових малогумусових на лесах і у ґрунтах світло-сірих малогумусових; зменшується з глибиною у чорноземах опідзолених середньогумусових і у дерново-підзолистих ґрунтах).

Також було підтверджено встановлену попередниками для ґрунтів лісостепової зони закономірність: Cu, Zn, Co, та Ni концентруються переважно у важкій та глинистій літологічних фракціях ґрунтів.

За допомогою методу постадійних витяжок авторами було визначено форми знаходження важких металів у досліджуваних ґрунтах і встановлено залежності між виявленими формами важких металів у ґрунтах та вмістом ґрунтового гумусу. Було виявлено, що у дерново-підзолистих ґрунтах більша частина металів пов'язана з залишковою формою, менша – з ґрунтовим гумусом та рухливими формами. У чорноземах вміст мікроелементів, пов'язаний з ґрунтовим гумусом, значно вищий, однак при цьому суттєво знижується їх вміст в рухомій формі.

Було виконано оцінку міграційної здатності рухливих форм важких металів у трофічному ланцюжку ґрунти-рослинність з позиції потенційної буферної здатності хімічних елементів у ґрунтах. Встановлено, що порядок збільшення потенційної буферної здатності по відношенню до забруднення важкими металами в досліджуваних ґрунтах НПП «Пирятинський» розташовуються у наступному порядку: світло-сірі опідзолені – дерново-підзолисті – чорноземи типові.

За допомогою методу озолення та розчинення у кислотах було вивчено зразки дерев'янистої рослинності, поширеної в межах досліджуваної території. З'ясовано, що середні значення вмісту мікроелементів у зразках дерев'янистої рослинності не перевищують фонових значень.

Таким чином, ґрутуючись на результатах проведених досліджень, можна стверджувати, що основними геохімічними факторами, які визначають екологічний стан досліджуваної території, є хімічний склад ґрунтів, сорбційна ємність ґрунтового-поглинального



комплексу, буферність, ступінь рухомості важких металів та рН.

Підсумовуючи викладені вище висновки, можна стверджувати, що територія НПП «Пирятинський» є чистою, незабрудненою важкими металами, а представлені у статті результати мають практичне наукове значення з точки зору встановлення фонових концентрацій мікроелементів для еколого-геохімічної оцінки у об'єктах довкілля техногенно-забруднених територій.

#### Література

1. Крюченко Н.О., Жовинський Е.Я., Папарига П.С. Рудні та геохімічні аномалії заповідних територій Українських Карпат (на прикладі Карпатського біосферного заповідника) – Київ, 2018 – 148 с.
2. Жовинський Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. – К: Наук. думка, 2002 – 213 с.
3. Галецький Л.С., Єгорова Т.М. Региональный эколого-геохимический анализ влияния тяжелых металлов промышленных отходов на состояние окружающей среды Украины. Экология довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 5. – С. 10-14.
4. Жуков М., Клипа А., Макаренко М. Імовірнісна оцінка забруднення природного середовища на основі моделювання розподілів вмісту хімічних елементів (на прикладі поверхневих вод Полтавської області). Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2012. – № 58.
5. Руденко Л.Г. Про критичний екологічний стан компонентів природи в регіонах України. Український географічний журнал – 2010. – №2 – с. 60-68.
6. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Наставни з методів відбирання проб: ДСТУ ISO 10381-2:2004 (ISO 10381-2:2002, IDT) – [Чинний від 2005-01-07.] – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 10 с.
7. Якість ґрунту. Відбирання проб: ДСТУ 4287:2004 – [Чинний від 2005-01-07.]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 10 с.
8. Самчук А.И. Физико-химические условия образования мобильных форм токсичных металлов в почвах. Минералогический журнал – 1998. – Том 20, №2 – С.48-59.
9. Крупський Н.К., Полупан Н.И. Атлас почв Украинской ССР. – К: Урожай, 1979.
10. Аринушкіна Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1970. – 487 с.
11. Долин В.В., Смирнов В.Н. Техногенно-экологическая безопасность биосистемы бугского лимана в условиях загрязнения тяжелыми металлами – Киев-Николаев, 2011.
12. Абдулоєва О., Карпенко Н. Поширеність фітоінвазій у рослинному покриві Національного природного парку «Пирятинський». Вісник Львівського університету. Серія біологічна – 2015 № 69.С. 191-201.

13. Римаєв А.І., Нагорний О.І. Природа Пирятинщини. Миргород: ТОВ Вид-во «Миргород», 2013. – 190 с.

14. Самчук А.І., Пономаренко О.М., Антоненко О.Г. Аналітичні схеми мікрохвильового розкладу гірських порід і мінералів та визначення в них мікроелементів методом мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою// Український хімічний журнал – 2010 – Випуск 76 – №10 – С. 115-121.

#### References

1. Kryuchenko, N.O., Zhovinsky, E.Ya., Paparyga, P.S. (2018). *Ore and geochemical anomalies of the protected theories of the Ukrainian Carpathians (on the example of the Carpathian Biosphere Reserve)*. Kyiv, 148 p.
2. Zhovinsky, E.E., Kuraeva, I.V. (2002). *Geochemistry of heavy metals in soils of Ukraine*. Nauk. Dumka, Kyiv, UA, 213 p.
3. Galatsky, L.S., Egorova, T.M. (2008) *Regional ecological-geochemical analysis of the influence of heavy metals of industrial waste on the state of the environment of Ukraine, Environmental Ecology and Life Safety Journal*, N 5, pp 10-14
4. Zhukov, M., Klypa, A., Makarenko, M. (2012). *Probabilistic estimation of environmental pollution on the basis of modeling of chemical element content distributions (on the example of surface waters of Poltava region)*. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv : Geology. V. 58. pp. 52-57.
5. Rudenko, L.G. (2010). *On the critical ecological status of the components of nature in the regions of Ukraine, Ukrainian Geographical Journal*, N2, pp 60-68.
6. *Soil quality. Sampling. Part 2. Guidance on sampling methods: DSTU ISO 10381-2: 2004 (ISO 10381-2: 2002, IDT)* . (2006) Gosstandart of Ukraine, 10 p.
7. *Soil quality. Sampling. DSTU 4287: 2004*. (2005) Gosstandart of Ukraine, 10 p.
8. Samchuk, A.I. (1998). *Physicochemical conditions of formation of mobile forms of toxic metals in soils*. Mineralogical Journal. (Ukraine). 20(2): 48-59.
9. Krupsky, N.K., Polupan, N.I. (1979) *Soil's atlas of the Ukrainian SSR*, Kyiv, pp. 30-57
10. Arinushkina, E.V. (1970) *A guide to chemical soil's analysis*, Moscow, 487 p.
11. Dolin, V.V., Smirnov, V.N. (2011). *Technogenic and ecological safety of the biogeosystem of the Bug estuary in the conditions of heavy metal pollution*, Kyiv-Nikolaev.
12. Abduloeva, O., Karpenko, N. (2015). *Prevalence of phytovivations in the vegetation cover of the Pyriatyn National Nature Park*, Visnyk of Lviv National University : Biology. V.69, pp. 191-201
13. Rimak, A.I., Nagorny, O.I. (2013) *The nature of the Pyriatyn Region*, Myrhorod, 190 p.
14. Samchuk, A.I., Ponomarenko, O.M. (2010). *Analytical schemes of microwave decomposition of rocks and minerals and their determination of micronutrients by inductively coupled plasma mass spectrometry*. Ukrainian chemical journal 76(10), pp. 115-121.

#### PATTERNS OF MICROELEMENTS DISTRIBUTION IN ENVIRONMENTAL OBJECTS OF PYRIATYNSKYI NATIONAL PARK

**Stych O.I.**, graduate student, M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine, oksana.stych@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5831-6652>

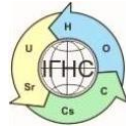
**Kuraeva I.V.**, D.Sc. (Geol.), head of department, M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine, KI4412674@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

**Koshliakova T.O.**, Ph.D. (Geol.), senior researcher, M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine, geol@bigmir.net, <https://orcid.org/0000-0001-8551-3531>

**Pastushchak Ya.I.**, graduate student, M.P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation of the National Academy of sciences of Ukraine, slavirius1994@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3098-2979>

*The article presents the results of complex studies of soils and vegetation of the protected territories of Ukraine regarding the content of trace elements (Pb, Cu, Zn, Y, Ba, Cr, Ni, Mn, Co, Mo) in them on the example of the Pyriatynskiy National Nature Park. The following environmental objects were studied during the work: Soils - light gray light-humus soils, typical low-humus chernozems on forests, black-soil ash-podium humus, sod-podzolic soils; vegetation - alder (Alnus), European spruce (Рісєа бibies), sedge thinner (Carex chordorrhiza), sedge rye (Carex secalina). Based on the physicochemical methods of investigation (atomic absorption, spectral, mass spectrometry with inductively coupled plasma), regularities of distribution of the basic forms of being of trace elements were revealed, as well as their mobile forms depending on the physical and chemical properties of the protected soil. The determination of the forms of being of heavy metals in soils was carried out by the method of step-by-step extractions. Granulometric and X-ray phase methods were applied to determine the mineral composition. For the study area, dependencies between the detected forms of heavy metals in soils and fractions of soil humus were established. The migration ability of mobile forms of heavy metals in the soil-vegetation-animal-human trophic chain was evaluated from the standpoint of the potential buffering ability of chemical elements in soils. It was concluded that the patterns of distribution of heavy metals in the soils of the study area are due to their physical and chemical properties, mineral-geochemical parameters of soil-forming rocks, as well as landscape and technogenic conditions. Based on the obtained data, it was established that the studied area can be considered pure, unpolluted by heavy metals, and the results presented in this article are of practical scientific importance in terms of establishing background concentrations of trace elements in the environment of man-made contaminated territories.*

*Keywords: soil, heavy metals, environment, forms of finding, migratory capacity.*



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.131>  
УДК 630.181 + 641.841.2

**Магльована Т.В., Долін В.В.**

**Магльована Т.В.**, к.х.н., доц., Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, maglovana\_t@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6780-9045>

**Долін В.В.**, докт. геол. н., проф., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», vdolin@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6174-2962>.

## КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ

У статті розглянуто проблемні питання щодо реалізації екологічного менеджменту та особливості його ведення в лісовому господарстві на радіоактивно забруднених територіях України. Проаналізовано сучасні вимоги та рекомендації нормативних документів України та ЄС щодо природоохоронної діяльності та збереження біорізноманіття. Аналіз даних супутникової системи MODIS показав істотний вплив лісових пожеж, зокрема на радіоактивно забруднених територіях, на зменшення площ лісових екосистем. Пожежі є другим за значущістю, після вирубки, чинником знеліснення території. Екологічні проблеми радіоактивно забруднених лісових екосистем можна подолати лише за умови удосконалення підходів, методик, стандартів з позицій екологічного менеджменту. Показано, що основою екологічного менеджменту радіоактивно забруднених лісових екосистем є підвищення їх пожежної безпеки. Запобігання та гасіння лісових пожеж на радіоактивно забруднених територіях є ключовою проблемою екологічного менеджменту, що потребує розроблення системи науково обґрунтованих заходів протипожежної охорони та управління лісами, ефективних методів управління пожежогасінням (віддалені, безпечні, запобігання пожежам, моніторинг, постійні профілактичні заходи), запобігання надмірному опроміненню персоналу та населення від різних джерел, вторинному поширенню радіонуклідів унаслідок пожеж на відносно чисті території. Унаслідок лісових пожеж радіонукліди у складі аерозолей, газоподібних продуктів згорання (диму та пилу) виносяться з лісових екосистем, створюючи джерело зовнішнього опромінення, інгаляційного та перорального надходження радіонуклідів. При цьому втрачається депонуюча функція лісу та збільшується міграційна здатність радіонуклідів. Запропоновано заходи щодо зменшення дози опромінення особового складу пожежних підрозділів під час гасіння лісової пожежі, що можливо досягти з використанням гідродинамічно активних водних вогнегасних речовин з одночасним прокладанням перед фронтом пожежі загорювальних смуг на основі солей полігексаметиленгуанідину.

**Ключові слова:** екологічний менеджмент, пожежонебезпечність, лісові екосистеми, радіоактивне забруднення, пожежогасіння, водні вогнегасні речовини, полігексаметиленгуанідин.

### Вступ

Екологічна безпека, як складова національної безпеки будь-якої держави, залежить від впровадження певних механізмів, всі елементи яких в господарській діяльності не ізольовані один від одного, а тісно взаємопов'язані між собою. Особлива увага заходам екологічної безпеки надається в країнах Європейського Союзу (ЄС), основною метою яких є захист життя та здоров'я людини через збереження та поліпшення біорізноманіття [1-4].

Порівнюючи програми збереження та охорони біорізноманіття, що запроваджуються в країнах ЄС та Україні, слід зазначити, що в Україні вони носять більшою мірою природокористувальний характер на відміну від програм ЄС, де пріоритетною метою завжди виступає збереження біорізноманіття шляхом запобігання, уникнення та боротьби із небезпечними

процесами та явищами природно-техногенного характеру, що спричиняють істотні втрати біологічного різноманіття [2-5].

Правове регулювання охорони лісів у країнах ЄС регламентує порядок контролю забруднення, проведення моніторингу та екологічної оцінки стану лісів, захисту їх від пожеж, як ключового чинника екологічної небезпеки, що веде до істотного ураження та знищення екосистеми [5,3].

Загальна площа лісового фонду України становить 10,4 млн. га, із яких вкритих лісовою рослинністю – 9,6 млн. га. Загалом 15,9 % площі країни вкриті лісами. Цей показник зростає: за 50 років площа лісів зросла на 21 %, майже втричі зріс запас деревини - його оцінюють в межах 2102 млн. м<sup>3</sup>. Але в період з 2000 по 2013 рр. площа відновлених лісів України

склала 63,01% у порівнянні із кількістю втрачених, наприклад, для Білорусі цей показник досягає 90,14%.

За показником лісистості території Україна належить до малолісних країн Європи. У багатьох країнах світу цей показник значно вищий. Так, за даними ООН, лісистість становить, %: у Фінляндії – 58,9, у Швеції – 67,7, в Німеччині – 29, у Франції – 28,7, в Італії – 21,2, в Канаді – 26,6, у США – 32,7, у Росії – 50,5.

За своїм призначенням і розташуванням лісові зони виконують незамінні соціальні (рекреаційні, санітарно-гігієнічні, наукові), господарсько-екологічні (захисні, біозабезпечувальні) та ландшафтно-стабілізуючі (охорона атмосфери, ґрунтів, вод, біоти) функції, що сприяють відновленню здоров'я та працездатності людей шляхом відпочинку на природі, покращенню стану природних та антропогенно змінених екосистем.

Ці чинники зараз є свого роду товарами природоохоронної сфери суспільного виробництва. Включення в економічну оцінку лісів вартості їх соціально-екологічних функцій – це нагальна потреба суспільства, вона підіймає значущість лісу набагато вище порівняно з теперішньою, яка оцінюється лише за виробленою деревинною та недеревинною продукцією. Пропонується, наприклад, оцінювати середовищезахисні і рекреаційні функції лісів I групи у 3 рази вище за їх експлуатаційну вартість, II групи – у 2 рази вище.

На території України ліси розташовані дуже нерівномірно - переважно на Поліссі та в Карпатах. Переважають хвойні ліси – ялина та сосна займають 41,9 % усієї площі, 27,5 % - дуб, 8,9 % - бук. Крім того, ростуть осики, граби, ясени, берези та модрина. Подекуди можна зустріти рідкісні породи дерев.

Прагнення України інтегруватись в європейську і світову спільноту передбачає розбудову чіткої й обґрунтованої концепції розвитку лісового господарства, де враховуватимуться питання збереження біорізноманіття та ведення лісового господарства, догляд за лісами і лісовими землями, використання їх таким чином і з такою інтенсивністю, щоб підтримувати їх продуктивність, відновлювальну здатність всіх притаманних їм екологічних, економічних і соціальних функцій на місцевому, національному і глобальному рівнях, не викликаючи при цьому пошкодження інших екосистем [7-9].

Проте відсутність належної системи фінансування лісгосподарської діяльності, особливо у східних і південних регіонах України, призвела до припинення робіт із створення захисних лісових насаджень та нездійснення запобіжних протипожежних заходів в лісах, що підвищило ризик виникнення лісових пожеж, осередків шкідників і хвороб лісу, всихання лісів та

погіршення екологічної ситуації [10-11]. Найбільш пожежонебезпечними є хвойні ліси, особливо насадження віком від 5 років за умов сухого стану трав нижнього ярусу, а також насадження віком до 20 років, у яких виникають верхові пожежі. Для насаджень віком від 25-40 років небезпека нижча через виникнення лише низових пожеж [12].

Серед головних чинників знеліснення території пожежі обіймають друге місце після вирубки. Небезпека лісових пожеж полягає у непередбачуваності, різних походженнях джерел загорання, швидкості поширення тощо. Найбільш небезпечними, з позицій екологічної безпеки, є лісові пожежі на радіоактивно забруднених територіях. Унаслідок таких пожеж, окрім соціально-економічних збитків, забруднення навколишнього природного середовища продуктами горіння, істотну роль відіграє дозотвірний чинник. Інтенсифікуються процеси міграції техногенних радіонуклідів та їх винесення за межі лісових екосистем. Ліси, що депонують 20–100 % первинних радіоактивних випадін, втрачають здатність утримувати радіонукліди

**Метою даного дослідження** є удосконалення екологічного менеджменту радіоактивно забруднених лісових екосистем України, які враховують вплив чинників на процеси міграції радіонуклідів із забруднених лісових екосистем та формування екологічної безпеки для довкілля та людини внаслідок пожеж у таких екосистемах.

#### **Виклад основного матеріалу**

Екологічний менеджмент покликаний виконувати комплекс функцій, кожна з яких зорієнтована на подолання специфічних проблем екологічного характеру. Екологічний менеджмент в Україні знаходиться на етапі становлення та не має не лише ефективної практичної імплементації, а й єдності теоретико-методичного апарату. Аналіз теоретичних підходів до тлумачення екологічного менеджменту дозволяє зробити висновок, що наукові погляди різняться щодо мети, цілей, об'єкту та суб'єктів реалізації. Найбільш вдалими формулювання екологічного менеджменту, на думку авторів, є екологічно безпечне управління, за якого досягається оптимальне співвідношення між екологічними та економічними показниками [4-6].

Окрім цього, в Україні залишається слабо опрацьованою система менеджменту природоохоронних територій. Наявні законодавчі акти й організаційні структури далеко не повною мірою відповідають завданням моніторингу біорізноманіття, прийнятим у країнах Європи, а поняття екологічного менеджменту на територіях спеціального (природоохоронного) призначення практично не розроблене. Наявні нормативно-правові акти щодо організації територій природно-

заповідного фонду (Наказ Мінприроди України № 245 від 06.07.2005 р.) не розв'язують цієї проблеми, оскільки практично не містять поняття «екологічний менеджмент території з метою збереження біорізноманіття». Лише деякі природоохоронні установи, шляхом затвердження в індивідуальному порядку відповідних Положень, здійснюють необхідні заходи менеджменту та моніторингу [5].

Впровадження екологічно орієнтованого лісогосподарського менеджменту забезпечується комплексом механізмів екологічно орієнтованого управління, що є цілісною та збалансованою сукупністю організаційно-економічних форм, які реалізуються у вигляді підмеханізмів, інструментів та технологій, за допомогою яких організуються, регулюються та координуються процеси використання та відтворення лісових ресурсів [3,6].

Головними сучасними проблемами лісогосподарської діяльності в Україні є [7-8]:

- відсутність стратегії реалізації єдиної державної політики у лісовому господарстві;

- неузгодженість та суперечливість природоохоронного та лісового законодавства, проведення відповідно до чинного законодавства рубок у, лісах природно-заповідного фонду та неврахування вимог збереження біорізноманіття при плануванні та проведенні лісогосподарських заходів;

- перехід на систему нових національних стандартів. Стандарти, розроблені до 1992 року (переважно всі міждержавні ГОСТ), скасовуються. На заміну мають бути введені європейські стандарти (EN) або, у разі відсутності таких, – міжнародні (ISO). Фактично, наразі нормативна база практично відсутня, оскільки радянські стандарти втратили чинність, а європейські (або власні) чинності не набули;

- лісові пожежі, висока небезпека виникнення яких обумовлена як антропогенними, так і природними чинниками;

- проблеми, пов'язані із наслідками аварії на Чорнобильській АЕС, у тому числі лісові пожежі на радіоактивно забруднених територіях.

Останні дві проблеми є вкрай актуальними, оскільки останніми роками екологічна безпека багатьох регіонів України зазнає впливу від пожеж, що виникають у лісових екосистемах [13-15]. Лісова пожежа – стихійне (неконтрольоване) поширення вогню в лісі (на покритих і непокритих площах, землях лісового фонду). За причинами виникнення вони поділяються на природні та антропогенні; за локалізацією – на верхові, низові та ґрунтові; за швидкістю поширення полум'я – на сильні, середні та слабкі. Найбільш часто виникають низові пожежі, які в подальшому переростають у верхові [12].

Щорічно у світі виникає більше 400 тис. лісових пожеж, які знищують мільйони тонн органічної речовини, сприяють поширенню шкідливих комах і дереворуйнівних грибків, за цих умов виникає водна ерозія ґрунту [12].

Про загострення цієї проблеми в Україні та світі свідчать великі лісові пожежі, які відбулися упродовж останнього десятиріччя, зокрема, дві великі пожежі в Чорнобильській зоні відчуження в 2015 р., а також катастрофічні пожежі, які трапились у 2016–2019 рр. в Австралії, Греції, Іспанії, Каліфорнії, Німеччині, Португалії, Швеції.

Аналіз динаміки лісових пожеж в Україні за їхньою площею та кількістю (згідно супутникової системи MODIS), наведено на рис. 1.

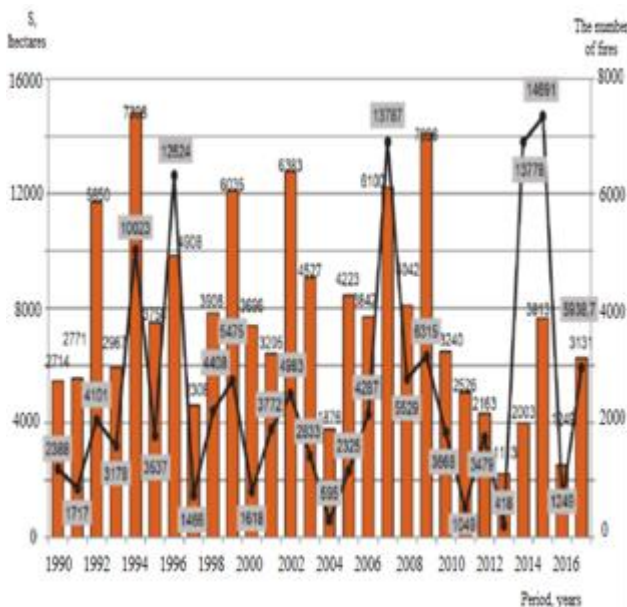


Рис. 1. Динаміка лісових пожеж в Україні за 1990–2017 рр.  
 Fig. 1. Wildfires in Ukraine during 1990–2017

У період 1990–2017 рр. спостерігається чітка тенденція до зростання площ великих лісових пожеж. Це свідчить про недосконалість управління пожежогасінням, недостатнім забезпеченням матеріальними резервами, недосконалою системою міжвідомчої взаємодії та недостатнім технічним забезпеченням. Слід зазначити, що Державна служба України з надзвичайних ситуацій реєструє тільки випадки, у яких були задіяні пожежно-рятувальні підрозділи ДСНС України та випадки, про які повідомлено із лісогосподарських підприємств. Державна служба статистики України не має повноважень вимагати інформацію про лісові пожежі у лісочористувачів, а отже здійснює збір даних із місцевих органів влади. Це інколи призводить до викривлення звітних (статистичних) даних під час реєстрації лісових пожеж між показниками, отриманими за допомогою методів дистанційного зондування землі, Державної служби статистики та служби статистики ДСНС. Тому питання удосконалення по-

жежної статистики має важливе значення, оскільки без розуміння реальних масштабів проблеми і своєчасного вжиття відповідних заходів Україні не уникнути катастрофічних пожеж.

Основними причинами виникнення лісових пожеж в Україні є дія антропогенних чинників:

- необережна або недобросовісна діяльність населення, неорганізованих відпочивальників і туристів на тлі відповідних природних умов;

- низький рівень свідомості та вихованості населення щодо бережливого ставлення до лісу;

- недостатня оснащеність лісгосподарських підприємств новою ефективною протипожежною технікою та відсутність належного фінансування щодо запровадження інноваційного міжнародного досвіду із попередження лісових пожеж;

- низький рівень роботи щодо виявлення та притягнення винуватців лісових пожеж до відповідальності;

- недостатня організаційна робота із своєчасної мобілізації сил і засобів у несприятливих екологічних умовах спричиняє значне пошкодження або загибель лісів і, як наслідок, необхідність збільшення санітарно-оздоровчих заходів у лісах.

Основними природними чинниками виникнення пожеж є блискавки та самозаймання у спекотну та суху погоду [7-8,13].

Оскільки внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС понад 3,5 млн. га лісових земель України потрапили в зону радіоактивного забруднення, на сьогоднішній час близько 35 % лісів України перебувають в зоні радіоактивного забруднення різної інтенсивності [16]. Найбільші площі радіоактивно забруднених лісових екосистем знаходяться в Житомирській (974,3 тис. га), Рівненській (728,8 тис. га), Чернігівській (725,5 тис. га) та Київській (416,4 тис. га) областях. У Черкаській, Вінницькій, Волинській, Сумській та Хмельницькій областях площа радіоактивно забруднених лісових екосистем становить 10-20% від їх загальної площі [13].

Щільність радіоактивного забруднення в лісах у середньому на 25–30% вища, ніж на неозелених територіях [17]. Оскільки в післяаварійний період ліси виконали функцію потужного бар'єру, поглинувши значну кількість радіонуклідів та захистивши тим самим від радіоактивного забруднення поверхневі і ґрунтові води, а також суміжні ландшафти, лісгосподарська діяльність була заборонена на площі майже 52,5 тис. га. [13, 16-17].

Повна або часткова відсутність догляду за лісовими насадженнями прискорила процеси самозрідження, властиві для як порід природного, так і штучного походження. Внаслідок боротьби за існування із переходом деревостанів у старші вікові групи зменшувалася кількість дерев на одиницю площі, накопичу-

вався сухостій. Збільшилися запаси лісової підстилки, нагромаджувався опад (відмерла хвоя, листя, дрібні гілки, кора, швидкість розкладу яких уповільнена). Сухостійні дерева поступово під впливом природних чинників втрачали верхівки, які, падаючи на ґрунт, утворювали валіж. Усі ці фактори сприяли розвитку осередків шкідників та хвороб лісу. Унаслідок значного накопичення лісових горючих матеріалів зростає пожежна небезпека, а важкодоступність лісових насаджень через захаращеність або заблокованість доріг збільшує час виявлення, тривалість гасіння пожеж та дозові навантаження особового складу пожежних підрозділів, залучених на гасіння пожежі [7, 15-16].

Заборона чи обмеження лісгосподарської діяльності призвела до накопичення лісових горючих матеріалів і погіршення протипожежного стану хвойних лісів, що створює ризик виникнення великих лісових пожеж, у тому числі верхових, температура полум'я яких може досягати 900-1200°C, а кількість винесених радіонуклідів з екосистеми за цих умов є найбільшою. Під час верхових пожеж <sup>137</sup>Cs, накопичений в органах дерев, надходить в атмосферу у вигляді аерозольних частинок, які є відкритими джерелами радіоактивного опромінення. Унаслідок верхових пожеж залежно від часу, що минув після інтенсивних радіоактивних випадів, може вивільнитись від 10-20 до 100 % радіонуклідів із загального запасу лісової екосистеми. Найбільше винесення спостерігається після первинного радіоактивного забруднення, коли радіоактивні частинки перебувають на поверхні рослинності.

Встановлено [19], що близько 70-90 % Cs осідає на частинках, розмір яких менший 4,0 мкм. Ці конденсаційні радіоактивні аерозолі виносяться із місця пожежі, їх концентрація в повітрі залежить від щільності радіоактивного забруднення території та інтенсивності пожежі. Наприклад, під час великих пожеж концентрація Cs в повітрі може підвищуватися в десятки і навіть сотні разів. Під час підземних пожеж на торфовищах, коли торф вигорає повністю, всі радіонукліди, що містяться в ньому, можуть переходити в аерозольний стан. Під час низових пожеж, коли горить сухий ґрунтовий покрив за температури близько 700°C, вивільнюється приблизно 5-20 % загального запасу радіонуклідів лісових насаджень.

Лісові пожежі порушують надійне депонування радіоактивних частинок у лісових екосистемах. Оскільки рослини гинуть, їхня коренева система більше не накопичує радіонукліди в кореновому шарі ґрунту, тому рухомі форми радіонуклідів перерозподіляються через профіль ґрунту в результаті вертикальних процесів міграції. Стронцій є більш рухливим, ніж Цезій. Через його вертикальну міграцію з потоком вологи ґрунту він інтенсивно мігрує з мінерального шару горизонту ґрунту, як вниз за профі-

лем, так і в рослини через їхню кореневу систему [13-15].

За умови виникнення пожеж потоки радіонуклідів разом із димом (тривалість життя радіоактивної димової хмари у нижній тропосфері - менше тижня, у верхній тропосфері – близько місяця) можуть перенестися вітром на сотні та тисячі кілометрів. У результаті підвищується загроза надходження радіонуклідів інгаляційним шляхом не тільки для пожежних, але й для населення відносно віддалених регіонів. Лісові пожежі, які регулярно виникають у зонах радіаційного забруднення, являють загрозу національній безпеці та транскордонного перенесення [5].

Унаслідок винесення радіоактивних частинок із зони пожежі зростає ризик забруднення трофічних ланцюгів та опромінення населення в результаті перорального надходження (рис. 2).



Рис. 2 Розподіл радіоактивних продуктів згорання в навколишньому середовищі.

Fig. 2. Environmental distribution of radioactive combustion products.

Залучення радіонуклідів у харчові ланцюги на радіоактивно забруднених територіях не завжди призводить до перевищення дози опромінення окремих осіб, проте зумовлює опромінення великого контингенту населення низькими дозами, що визначає ймовірність віддалених радіобіологічних ефектів. За цих умов істотним чинником радіаційної загрози та основним критерієм радіоекологічної безпеки виступає колективна еквівалентна доза опромінення населення, яка визначається кількістю дозоутворюючих радіонуклідів, що містяться у виробленій на забрудненій території рослинній продукції.

Ратифікація Україною Конвенції про транскордонне забруднення повітря ставить перед державою додаткові вимоги щодо дотримання природоохоронного законодавства із захисту атмосферного повітря, реалізації природоохоронних заходів та ведення еко-

логічного моніторингу відповідно до прийнятих у країнах ЄС [5].

Унаслідок радіоактивного забруднення лісових екосистем спостерігається зниження інвестиційних перспектив у лісову промисловість, що проявляються як в прямих факторах, пов'язаних з підвищенням фоновому випромінювання, забрудненням лісових ґрунтів, перевищенням допустимих концентрацій радіонуклідів у лісових ресурсах (гриби, ягоди, луки) так і непрямих, пов'язаних із зниженням біологічної стійкості та підвищенням пожежонебезпечності лісових екосистем внаслідок обмеження лісового господарства, необхідністю додаткових витрат на забезпечення радіаційного захисту під час польових робіт та гасіння лісових пожеж.

Біологічний кругообіг радіоактивних речовин у лісових екосистемах може також порушуватись за лісогосподарської діяльності людини, що полягає у заходах лісовідновлення та лісорозведення, способах і технологіях рубок, переробленні деревини, заготівлі продукції лісу (ягід, м'яса мисливських тварин, лікарських рослин, сіна та випасання худоби, деревних соків, їстівних грибів, продуктів бджільництва тощо). З біомасою недеревної і деревної продукції лісу з природної екосистеми виносяться радіонукліди. Величина винесення залежить від інтенсивності ведення лісового господарства, кількості ягід і грибів, які збирає місцеве населення. Вона може становити від кількох десятків відсотка за рахунок збирання ягід і грибів до десяти-двадцяти відсотків (загального запасу в біоценозі) при суцільних рубках головного користування [16-17].

Запобігання поширенню радіонуклідів із радіоактивно забруднених лісових екосистем з метою дотримання безпеки населення і навколишнього середовища можливо досягти шляхом впровадження принципів екологічного менеджменту, тобто екологічно безпечного управління, за якого досягається оптимальне співвідношення між екологічними та економічними показниками. На основі опрацьованих літературних джерел [13-17] авторами виділено основні складові екологічного менеджменту радіоактивно забруднених лісових екосистем, які враховують вплив чинників на процеси міграції радіонуклідів, зокрема, протипожежні заходи, управління пожежогасінням, захист особового складу оперативно-рятувальних сил, задіяних на гасіння лісової пожежі (рис. 3). Особливе місце серед них займають протипожежні заходи, управління пожежогасінням та захист особового складу оперативно-рятувальних сил, задіяних на гасіння лісової пожежі. Основною небезпекою для пожежних, крім теплового впливу є наявність в повітрі дрібнодисперсного радіоактивного пилу, що зумовлює опромінення внаслідок інгаляційного надходження. Під час пожежі

відбувається формування дрібнодисперсного радіоактивного аерозолу за рахунок утворення попелу та конденсації радіонуклідів на різних носіях (наприклад – пил). Все це може призводити до збільшення приземної концентрації радіонуклідів в повітрі на 2-3 порядки. Величина інгаляційної дози опромінення залежить від запасу радіонуклідів у горючому матеріалі [19-20].



Рис. 3 Основні складові екологічного менеджменту радіоактивно забруднених лісових екосистем.

Fig. 3. Structure of environmental management for radioactive contaminated forest ecosystems.

Частка горючого матеріалу, що згорить, залежить від виду пожежі і класу пожежної небезпеки для різних погодних умов і змінюється від 0 % для деревини до 97 % для хвої чи листя. При цьому винесення  $^{137}\text{Cs}$  з органічного матеріалу в аерозолі становить від 25 % до 75 %. Під час лугових і лісових пожеж у повітрі можуть бути присутні радіоактивні аерозолі мікронного і субмікронного розміру. Найбільш небезпечними є альфа-випромінюючі радіонукліди  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ , що піднімаються в повітря з мікронними частинками пилу та попелу.

Використання пожежної техніки під час гасіння лісових пожеж веде до руйнування верхнього шару ґрунту (2-4 см), де міститься переважна кількість радіонуклідів, що сприяє інтенсифікації міграційних процесів. Отже, аналізуючи небезпечні чинники, що виникають під час гасіння лісових пожеж на радіоактивно забруднених територіях (інгаляційне і зовнішнє опромінення особового складу, тепловий стрес, велика кількість продуктів повного і неповного згорання в зоні гасіння, задимлення, зневоднення, надмірна тривалість роботи без відпочинку), актуальним є розроблення системи заходів, пов'язаних з мінімізацією перебування особового складу пожежних підрозділів і

техніки в зоні гасіння пожежі, що може бути досягнуто за рахунок удосконалення управління пожежогасінням з використанням превентивних заходів, що включають обробку лісових масивів, лісосмуг вогнезахисними композиціями та прокладанням загороджувальних смуг перед фронтом пожежі.

Щорічні збитки від лісових пожеж, у тому числі на радіоактивно забруднених територіях, народному господарству та навколишньому середовищу вказують на недосконалість технологій і технічних засобів, що використовуються для запобігання і активного гасіння лісових пожеж.

На тип пожежі, її інтенсивність, висоту полум'я, склад продуктів повного та неповного згорання безпосередньо впливають запаси лісових горючих матеріалів. Важливе значення також має і фракційний склад лісових горючих матеріалів. До складу ґрунтової групи лісових горючих матеріалів входять основні компоненти горіння: лісова підстилка, що складається із рослинних залишків, а також горючі матеріали в надґрунтовому покриві, що включають в себе траву та мох, лишайники, опад, дрібні гілки (діаметром до 7 мм). Соснові ліси мають досить добре розвинену лісову підстилку товщиною 3-6 см, яка суттєво впливає на поширення низової пожежі [20].

Тому запобігання та гасіння лісових пожеж на радіоактивно забруднених територіях є ключовим елементом екологічного менеджменту, що потребує розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо протипожежної охорони та управління лісами з дотриманням правил радіаційної безпеки для мінімізації дозових навантажень:

- від зовнішнього опромінення;
- від перорального споживання продукції лісу;
- від інгаляційного опромінення населення внаслідок пожеж;
- від інгаляційного і зовнішнього опромінення особового складу пожежних підрозділів.

Доза зовнішнього опромінення особового складу пожежних підрозділів може бути зменшена шляхом мінімізації часу перебування персоналу в умовах радіоактивного забруднення, використанням герметичних автомобільних кабін, засобів дистанційного керування інструментами, авіацією та удосконаленням управління пожежогасіння (рис. 5):

- виявлення (раннє запобігання та схвалений план пожежогасіння) оптимального розташування сил та засобів в залежності від наявності водосховищ, оптимізація маршрутів транспортних засобів до водосховищ;
- попередній аналіз сценаріїв поведінки вогню та просторової локалізації районів із найбільшим ризиком пожеж, інвентаризація наявних водних ресурсів, облаштування резервуарів, необхідних для припинен-



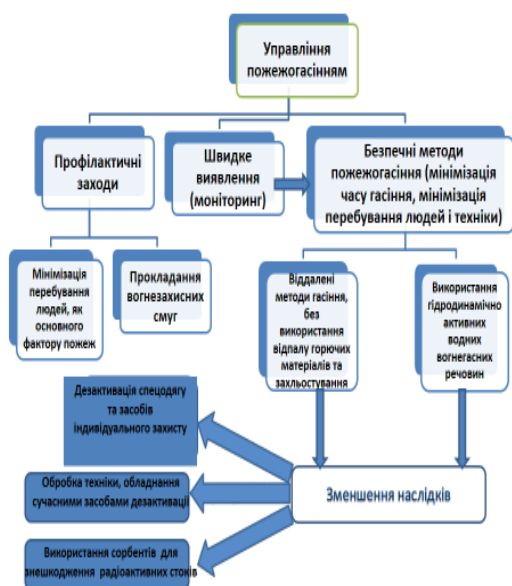
ня лісових пожеж, прокладання вогнезахисних профілактичних смуг;

- безпосередньо пожежогасіння - ліквідація пожежі на початковій стадії горіння з використанням ефективних гідродинамічно активних вогнегасних речовин та мінімізація опромінення персоналу, забезпечення оцінки дози його опромінення, проведення індивідуального дозиметричного контролю та моніторингу навколишнього середовища, захист особового складу підрозділів оперативного-рятувальних сил цивільного захисту (ОРСЦЗ);

- зниження пилоутворення - для мінімізації шкідливого негативного радіоактивного впливу на учасників пожежогасіння перспективним є застосування вогнегасних речовин на основі сольових форм полігексаметиленгуанідину, (ПГМГ) які сприяють утворенню на поверхні горючого матеріалу полімерних плівок та мають адсорбційні властивості;

- контроль індивідуальних доз особового складу пожежних підрозділів і використання засобів індивідуального захисту, використання респираторів та інших індивідуальних захисних засобів для органів дихання;

- ліквідація негативних наслідків (організація заходів щодо дезактивації).



**Рис. 4.** Схема управління пожежогасінням радіоактивно забруднених лісових екосистем (розроблено авторами на основі власних досліджень та літературних джерел).

**Fig. 4.** Scheme of firefighting management for radioactive contaminated forest ecosystems (authors interpretation)

Під час гасіння лісових пожеж на радіоактивно забруднених територіях нормами безпеки МАГАТЕ [22] вимагається мінімізація опромінення персоналу, що пов'язано з реальним або потенційним опроміненням людей, а також забезпечення оцінки дози його опромінення, проведення індивідуального дозиметричного

контролю та моніторингу навколишнього середовища. Тому всі учасники пожежогасіння повинні бути адекватно екіпіровані персональним захисним обладнанням (індивідуальними дозиметрами, спеціальним одягом і взуттям, засобами індивідуального захисту органів дихання). Ступінь захисту особового складу залежить від величини забруднення зони, в якій проводиться ліквідація пожежі.

Основний внесок в дозу опромінення ліквідаторів пожежогасіння має зовнішнє опромінення під час знаходження на радіоактивно забрудненій території та інгаляційне надходження радіонуклідів від вдихання димових аерозолів □ продуктів згорання лісових горючих матеріалів, що є відкритими джерелами іонізуючого випромінювання.

Контрольний рівень зовнішнього опромінення для особового складу пожежних підрозділів під час роботи в Чорнобильській зоні відчуження становить 2,3 мЗв [22-24]. Ліміт ефективної еквівалентної дози (ЛДЕ) опромінення персоналу категорії А становить 20 мЗв·рік<sup>-1</sup>. Прогнозована ефективна доза зовнішнього опромінення  $D$  дорівнює добутку тривалості роботи протягом певного часу ( $t$ ) за потужності ефективної дози опромінення дорослої людини за час роботи  $Pt$  [25]:

$$D = Pt \cdot t \quad (1)$$

Таким чином, за встановленого ЛДЕ 20 мЗв/рік при 1700 годинах роботи протягом року (всі робочі дні), допустима доза від зовнішнього опромінення не має перевищувати 10 мкЗв/год. Прогнозована ефективна доза внутрішнього опромінення за рахунок інгаляційного надходження кожного радіонукліду  $D$  для дорослої людини (без використання засобів індивідуального захисту органів дихання) під час інтенсивної роботи протягом певного проміжку часу ( $t$ ) може бути розрахована як добуток питомої об'ємної активності радіонукліду в повітрі  $A$  на об'єм повітря, що людина вдихає за час роботи  $Vt$  та на дозовий коефіцієнт  $B$ :

$$D = A \cdot B \cdot Vt \quad (2)$$

При важкому фізичному навантаженні  $Vt = 3\text{м}^3/\text{год}$ . Максимальна ефективна доза на одиницю інгаляційного надходження радіонукліду  $B$  становить, Зв/Бк:  $^{90}\text{Sr} = 1,5 \cdot 10^{-7}$ ;  $^{137}\text{Cs} = 6,7 \cdot 10^{-9}$ ;  $^{238-240}\text{Pu} = 4,3 \div 4,7 \cdot 10^{-5}$ ;  $^{241}\text{Pu} = 8,5 \cdot 10^{-7}$ ;  $^{241}\text{Am} = 3,9 \cdot 10^{-5}$ .

Для обмеження внутрішнього опромінення персоналу вводиться допустиме надходження радіонукліда через органи дихання - річне надходження радіонукліда через органи дихання (допустимий рівень), яке забезпечує неперевикнення ліміту дози для осіб категорії А (персонал) під час безпосереднього інгаляційного надходженні окремого радіонукліда на рівні,

Бк/год:  $^{90}\text{Sr} = 3 \cdot 10^4$ ;  $^{137}\text{Cs} = 1 \cdot 10^5$ ;  $^{238-240}\text{Pu} = 60$ ;  $^{241}\text{Pu} = 3 \cdot 10^3$ ;  $^{241}\text{Am} = 70$ .

Неперевищення допустимого рівня інгаляційного надходження радіонуклідів забезпечується за умови неперевищення допустимої концентрації в повітрі протягом всього робочого часу, Бк/м<sup>3</sup>:  $^{90}\text{Sr} - 10$ ,  $^{137}\text{Cs} - 60$ ,  $^{238-240}\text{Pu} - 0.03$ ,  $^{241}\text{Pu} - 1$ ,  $^{241}\text{Am} - 0.03$ .

З метою економії дози опромінення особового складу пожежних підрозділів авторами запропоновано спосіб гасіння лісової пожежі, що включає в себе використання гідродинамічно активної водної вогнегасної речовини [26, 27]. Запропонований спосіб дозволяє підвищити ефективність роботи систем пожежогасіння без використання додаткових засобів і суттєвої зміни їхньої конструкції та досягти скорочення термінів гасіння. Прокладання загороджувальних смуг перед фронтом пожежі, починаючи з тилу, сприяє утворенню на поверхні лісових горючих матеріалів інгібуючого шару, що уповільнює швидкість горіння на початковій стадії в 3-4 рази. Впровадження авторської розробки дозволить істотно скоротити час гасіння лісової пожежі та досягти істотної економії дози опромінення особового складу пожежних підрозділів, задіяних на гасіння лісової пожежі (табл. 1).

**Табл. 1.** Розрахунковий допустимий час роботи особового складу пожежних підрозділів під час гасіння лісової пожежі з використанням похідних ПГМГ

**Table 1.** Estimated permissible operating time of fire brigade personnel during forest fire extinguishing using PHMG derivatives

Потужність експозиційної дози, мкЗв/год	Дозове навантаження, мкЗв	Категорія А ІІ підгрупа (особовий склад пожежних підрозділів)		
		З використанням H <sub>2</sub> O	З використанням похідних ПГМГ	
			Гасіння пожежі	Прокладання вогнезахисних смуг
Час роботи				
50	6,25	Не залучати	Не залучати	30 хв
10	5,8	35 хв	70 хв	140 хв
5	7,5	1,5 год	3 год	6 год
1	6,2	6,2 год	12,4 год	24,8 год
0,5	6,25	12,5 год	25,0 год	50 год
0,3		Без обмежень	Без обмежень	Без обмежень
Контрольний рівень зовнішнього опромінення мЗв/рік 2,3				

Особовий склад пожежних підрозділів оснащено захисним екіпуванням, яке включає каску, захисні окуляри і респиратор, міцне шкіряне взуття та пляшку з питною водою. З урахування попередніх досліджень [25] авторами розроблено рекомендації щодо оснащення особового складу пожежних підрозділів:

- під час гасіння лісових пожеж на територіях, забруднених радіонуклідами, їх концентрація в продуктах згорання збільшується в десятки та сотні разів, тому під час гасіння пожеж є потреба в захисті дихальної системи, шкіри та очей від твердих продуктів згорання (зола, не повністю спалені речовини, дим і пил).

- робота повинна проводитися тільки в захисному одязі (комбінезон), котрий після використання підлягає дезактивації або утилізації (захоронення) відповідно до норм радіаційної безпеки;

- транспортні засоби, які використовуються для доставки персоналу до робочих місць, підлягають дезактивації спеціальними засобами не рідше одного разу на зміну;

- питна вода та гаряча їжа повинні бути доставлені на робочі місця в закритих посудинах та вакуумних пляшках; їжа повинна бути додатково запакована в пластикові пакети;

- після закінчення робіт комбінезони та взуття заправляються в спеціальні мішки та поміщаються в ізольовані контейнери;

- руки, обличчя, очі, вуха і носоглотка повинні бути ретельно промиті, для цього необхідно мати запас чистої води;

- захисний одяг повинен бути виготовлений з матеріалу, що не має адсорбційних властивостей з метою запобігання радіоактивному пиловому забрудненню. Головні убори повинні бути виготовлені з матеріалів, які може легко знезаражуються (дезактивуються).

Надходження радіонуклідів в організм перкутанним шляхом (через шкіру) можливий як через пошкоджені, так і неушкоджені ділянки шкіри. Перкутантна інкорпорація радіонуклідів прямо пропорційна часу контакту радіоактивних матеріалів зі шкірою.

При дезактивації забруднених ділянок шкіри слід використовувати звичайні миючі засоби, а також запропоновано використання спеціальних дезактивуючих розчинів на основі солей полігексаметиленгуанідину «Полідез», «Тонік антисептичний «Біоцид плюс»».

Робота в таких умовах вимагає збалансування типів захисту, наприклад, повнокомплектний протипожежний костюм дуже добре захищає від прямого впливу тепла та опіків, але може дуже швидко стати причиною теплового стресу через слабе відведення тепла від тіла.

Найкращими матеріалами для виготовлення одягу пожежного є шерсть та бавовна. Більшість синтетичних матеріалів не відводять тепло від тіла, можуть спалахнути або розплавитися під дією тепла. Товщина матеріалу є основним фактором у зменшенні кількості

тепла, переданого до тіла. Шари одягу і повітряні прошарки між шарами можуть створити подібний бар'єр.

Вільно зіткана тканина (наприклад, шерсть) добре ізолює від променевого тепла і дозволяє видаляти тепло від тіла. Щільно зіткана тканина (наприклад, джинсова) є поганим ізолятором від променевого тепла і погано відводить його від тіла, хоча має хорошу зносостійкість і міцність до розривів.

Крім того, одяг, що використовуються під час гасіння лісових пожеж, в тому числі на радіоактивно забруднених територіях, повинен включати:

- безпечний шолом та одяг, що захищає шию;
- товсту сорочку з довгими рукавами і довгі штани з товстої тканини або протипожежний комбінезон;
- шкіряні або інші відповідні черевики з бавовняними носками;
- бавовняні або брезентові рукавиці;
- бавовняну білизну;
- манжети брюк, сорочки, комбінезона та шия повинні бути відкритими, це дозволяє повітрю циркулювати, а поту випаровуватися, зменшуючи ризик небезпечного накопичення тепла.

Також важливим є екіпірування, що захищає слух і зір, оскільки роботи проводяться в середовищі з високим рівнем шумового навантаження (насоси, силове обладнання, важка техніка), а протипилові захисні окуляри і маски зменшують дискомфорт, коли рятувальники знаходяться в задимлених умовах із високим вмістом пилу. З метою зменшення пилоутворення при проведенні догасіння рекомендовано використовувати 1% розчини поверхнево-активних речовин гуанідинового ряду.

Невеликий рюкзак з додатковим одягом, висококалорійною їжею, водою, засобами дезінфекції та першої медичної допомоги повинен бути передбачений для персоналу рятувальників, що працюють у віддалених місцевостях та можуть перебувати там досить довгий час.

### **Висновки.**

1. Реалізація заходів з підвищення екологічної безпеки лісових екосистем України полягає у поєднанні екологічних, економічних та соціальних складових національної системи лісоуправління шляхом впровадження основних принципів екологічного менеджменту.

2. Основними чинниками пошкодження та зменшення площ лісових екосистем України є незбалансованість системи лісового господарства, вплив несприятливих погодно-кліматичних умов, хвороби лісу, пошкодження шкідниками та лісові пожежі. Пожежі виступають другим (після вирубки) за значущістю чинником знецінення території.

3. Екологічна безпека радіоактивно забруднених лісових екосистем передусім визначається їх пожежо-небезпечністю. Лісові пожежі на радіоактивно забруднених територіях є провідним чинником перерозподілу (поширення, міграції) радіонуклідів між компонентами навколишнього природного середовища, що веде до збільшення дозових навантажень на населення та особовий склад пожежних. Унаслідок лісових пожеж радіонукліди у складі аерозолів диму та пилу в сукупності з газоподібними продуктами згорання виносяться в повітря, створюючи небезпеку радіоактивного опромінення учасників пожежогасіння та вторинного забруднення відносно чистих територій.

4. Показано можливі шляхи удосконалення екологічного менеджменту радіоактивно забруднених лісових екосистем України шляхом зменшення інтенсивності міграції техногенних радіонуклідів та виведення їх за межі лісових екосистем внаслідок пожеж за рахунок удосконалення управління пожежогасінням (віддалені, безпечні, запобігання пожежам, моніторинг, постійні профілактичні заходи), зокрема використання гідродинамічно активних водних вогнегасних речовин з одночасним прокладанням перед фронтом пожежі загороджувальних смуг на основі гуанідинових полімерів.

5. Авторами запропоновано низку заходів щодо зменшення дозового та теплового навантаження особового складу пожежних підрозділів. Ці заходи полягають у використанні нової гідродинамічно активної водної вогнегасної речовини для пожежогасіння з одночасним прокладанням перед фронтом пожежі загороджувальних смуг; обробленні уражених (радіоактивно забруднених) ділянок шкіри спеціальними дезактивуючими розчинами «Полідез», «Тонік антисептичний «Біоцид плюс»».

**Перспективи подальших досліджень.** Розробка функціональних матеріалів та дослідження їх властивостей з метою використання в екологічних технологіях, пов'язаних з регенерацією забруднених вододжерел та ремедіації ґрунтів для забезпечення екологічної безпеки України.

### **Література**

1. Адамовський О.М. Еволюція підходів до менеджменту лісових екосистем / О.М. Адамовський . Збірник науково-технічних праць НЛУУ - 2014. – Вип. 24.2 □ С. 102-108.
2. Экосистемы благосостояние людей: рамки оценки. Island Press. Washington. Kovel. London. World Resources Institute 2005. [Электронный ресурс]. – Доступный с [http://www.unep.org/maweb/documents/MA\\_A\\_framework\\_for\\_Assessment\\_RUS.pdf](http://www.unep.org/maweb/documents/MA_A_framework_for_Assessment_RUS.pdf).
3. Forest Ecosystem Management Assessment / J.W. Thomas [et al.]. Forest ecosystem management: an ecological, economic, and social assessment. U.S. Government Printing Office. – 1993. – 1000 p.

4. Концепція реформування та розвитку лісового господарства України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/208-2006-%D1%80>.
5. Регулювання екологічної безпеки транскордонного регіону в умовах євроінтеграції України (наукова доповідь) / [В.С. Кравців, П.В. Жук, І.А. Колодійчук та ін.]; НАН України. ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М.І. Долишнього»; [наук. ред. В.С. Кравців]. – Львів, 2015. – 121 с.
6. Дребот О.І. Збалансований розвиток лісового сектору економіки в контексті європейської інтеграції України: [монографія] / О.І. Дребот, М.Х. Шершун, О.І. Шкуратов. – К.: Аграрна наука, 2014. – 317 с.
7. Горбик В.М. Проблеми та напрями вдосконалення державної політики управління збалансованим розвитком лісгосподарського потенціалу регіонів / В.М. Горбик. The 9th International conference —Science and society (February 1, 2019) Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada. 2019. 1359 p.
8. Фурдичко О.І. Лісова галузь України у контексті збалансованого розвитку теоретико-методологічні, нормативно-правові та організаційні аспекти : [монографія] / О.І. Фурдичко, В.В. Лавров. – К. : Основа, 2009. – 424с.
9. Угода про Асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами, з іншої сторони, ратифіковано Законом України № 1678-VII від 16.09.2014 [http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/984_011).
10. Пропозиції щодо формування Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища на 2016-2020 роки (другий проект) / Міністерство екології та природних ресурсів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua>
11. Лісовий кодекс України Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3852-12>.
12. Терещенко В.В. Противопожарная защита и тушение пожаров (леса, торфа, лесосклады)/ В.В. Терещенко, Н.С. Артемьев, В.А. Грачев, О.Ю. Сабинин. – Кн. 6. – М., 2006. – 294с.
13. Наукові засади захисту населення і територій від наслідків лісових пожеж з радіаційно небезпечними факторами: монографія /С.І. Азаров, С.А. Єременко, В.Л. Сидоренко та ін.; за заг. ред. П.Б. Волянського. – К.: ТОВ "Інтердрук", 2016. – 203с.
14. Мінімізація радіаційних наслідків лісових пожеж після Чорнобильської катастрофи на основі еколого-інформаційного моніторингу: монографія / О. І. Бондар, С. І. Азаров, В. М. Ващенко та ін.; за заг. наук. ред. О. І. Бондаря – Херсон: Гринь Д.С., 2016. – 300 с.
15. Дворник А. А. Радиоактивное загрязнение воздуха в результате лесных пожаров и его опасность для здоровья человека /А. А. Дворник, А. М. Дворник, Р. А. Король и др.. Радиация и риск. Т. 25. №2– 2016. С. 100-108.
16. Прикладна радіоекологія лісу / [Краснов В.П., Орлов О.О., Бузун В.О., Ландін В.П., Шелест З.М.] Під ред.д.с.-г.н., проф. Краснова В.П. – Монографія. – Житомир: «Полісся», 2007. – 680с.
17. Основи лісової радіоекології / [Патлай І.М., Давидов М.М., Ландін В.П. та ін.] - Київ: Ярмарок, 1999. – 251с.
18. Смирнов А.П. Лесная пирология: Учебное пособие / А. П. Смирнов, Е. С.Мельников// СПб: СПбГЛТА.– 2006. –60с .
19. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl exclusion zone: part I. Fire experiments /Yoschenko V.I., Kashparov V.A., Protsak V.P., Lundin S.M.. Journal of Environmental Radioactivity. -2006. - V. 86. - P.143-163.
20. Дворник А. А. Радиоактивное загрязнение воздуха в результате лесных пожаров и его опасность для здоровья человека /А. А. Дворник, А. М. Дворник, Р. А. Король и др.. Радиация и риск. Т. 25. №2– 2016. С. 100-108.
21. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Interim edition. General Safety Requirements Part 3 No. GSR Part 3 (Interim), IAEA, Vienna, 2011, 303p.
22. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ – 97). – Державні гігієнічні нормативи. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. – Видання офіційне. – Київ: Комітет з питань гігієнічного регламентування МОЗ України, 1998. – 135 с.
23. Норми радіаційної безпеки України затверджені наказом МОЗ України від 02.02.2005 № 54.
24. Положение о контроле индивидуальных доз облучения персонала зоны отчуждения, введенное в действие приказом начальника ДД-АЗВ и ЗБ(О)В от 15.06.2010 № 54.
25. Руководство для участников тушения лесных пожаров в белорусском и украинском секторах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС/ В.Усеня, Й.Г. Голдаммер, В.Кашпаров и др. Фрайбург - Гомель – Киев –2016. 70 с.
26. Застосування гуанідинових полімерів для превентивної протипожежної обробки лісових насаджень: пат. на корисну модель 137115 UA/ Т.В. Магльована, В.В. Долін.– № у 201901513; заявл.15.02.2019; опубл. 10.10.2019, Бюл. №19.
27. Спосіб гасіння лісових пожеж: пат. на корисну модель 136998 UA/ Т.В. Магльована, В. В. Долін. – №у 201902569; заявл. 18.03.2019; опубл. 25.09.2019, Бюл. №18.

## References

1. Adamovsky O.M. (2014) *Zb.nauk.-tekhn.pr. NLUU*, Vyp. 24.2, Lviv, UA, pp. 102– 108.
2. *Ekosistemy i blagosostoyaniye lyudey: ramki otsenki.* (2005) Island Press. Washington. Kovel. London. World Resources Institute
3. J.W. Thomas [et al...] (1993) *Forest Ecosystem Management Assessment* pp.1000.
4. Kontseptsiya reformuvannya ta rozvytku lisovoho hospodarstva Ukrainy.
5. Kravtsiv, V.S., Zhuk, P.V., Kolodiychuk, I.A. (2015), *Sciences. ed. V.S. Tailors.*, Lviv, UA, pp.121.
6. Drebota, O.I., Shershun, M.Kh., Shkuratov, O.I. (2014) *Zbalansovanyy rozvytok lisovoho sektoru ekonomiky v konteksti yevropeys' koyi intehratsiyi Ukrainy*: [monohrafiya], Kyiv, UA, 317p.
7. Horbyk, V.M. (2019) *The 9th International conference —Science and society Accent Graphics Communications & Publishing*, Hamilton, Canada. pp.1359.
8. Furdychko, O.I. and Lavrov, V.V. (2009) *Lisova*

haluz' Ukrayiny u konteksti zbalansovanoho rozvytku teoretyko-metodolohichni, normatyvno-pravovi ta orhanizatsiyni aspekty: [monohrafiya], Kyiv, UA, 424p.

9. Uhoda pro Asotsiatsiyu mizh Ukrainoyu, z odniyei storony, ta Yevropeys' kym Soyuzom, Yevropeys' kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi ta yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony (2014). [http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/984_011).

10. Propozytsiyi shchodo formuvannya Natsional' noho planu diy z okhorony navkolyshn' oho pryrodnoho seredovyscha na 2016-2020 roky (druhyy projekt) <http://www.menr.gov.ua>

11. Lisovyy kodeks Ukrayiny [Elektronnyy resurs] <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3852-12>.

12. Terebnev, V.V., Artemyev, N.S., Grachev, V.A., Sabinin, O.Yu. (2006) *Protivopozharnaya zashchita i tusheniye pozharov (lesa, torfa, lesosklady)*, Moscow, RU, 294p.

13. Azarov, S.I., Eremenko, S.A., Sidorenko, V.L and others; for the total. ed. Volyansky P.B. (2016) *Naukovi zasady zakhystu naselemya i terytoriy vid naslidkiv lisovykh pozhezh z radiatsiyno nebezpechnymy faktoramy*, Interdruk, Kyiv, UA, 203p.

14. Bondar, O. I., Azarov, S. I. Vashchenko, V. M. (2016) *Minimizatsiya radiatsiynykh naslidkiv lisovykh pozhezh pislya Chornobyl' s' koyi katastrofy na osnovi ekoloho-informatsiynoho monitorynhu*: monohrafiya; za zah. nauk. red. O. I. Bondarya, Kherson, UA, 300p.

15. Dvornik, A.A., Dvornik, A.M., Korol, R. A., Shamal, N. V., Gaponenko, S.O., Bardukova, A.V. (2018) *Aerosol Science and Technology*, Vol. 52, № 8, pp. 923–932.

16. Krasnov, V.P., Orlov, O.O., Buzun, V.O., Landin, V.P., Shelest, Z.M. (2007) *Prykladna radioekolohiya lisu*, monohrafiya. za zah. red. Krasnova V.P., Zhytomyr, UA, 680p.

17. Patlay, I.M., Davydov, M.M., Landin V.P. (1999) *Osnovy lisovoyi radioekolohiyi* Kyiv, UA, 251p.

18. Smirnov, A.P., Melnikov, E. S. (2006) *Lesnaya pirologiya: Uchebnoye posobiye*, Petersburg, RU, 60p.

19. Yoschenko, V.I., Kashparov, V.A., Protsak V.P., Lundin, S.M., Levchuk, S.E., Kadygrib, A.M., Zvarich, S.I., Khomutinin, Yu.V., Maloshtan, I.M., Lanshin, V.P., Kovtun, M.V. (2006) *Journal of Environmental Radioactivity*. Vol. 86, pp. 143-163.

20. Dvornik, A.A., Dvornik, A.M., Koroletal, R. A. (2016), *Radiation and risk*, T. 25, №2, pp. 100–108.

21. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Interim edition. General Safety Requirements Part 3 No. GSR Part 3 (Interim), IAEA (2011), Vienna, 303p.

22. *Normy radiatsiynoyi bezpeky Ukrayiny* [Norms of radiation safety of Ukraine], (1998) 6.6.1.-6.5.001-98, Kyiv, UA, 135 p.

23. *Nakaz MOZ Ukrayiny (2005) № 54 «Pro zatverdzhennya derzhavnykh sanitarnykh pravyl «Osnovni sanitarni pravyla zabezpechennya radiatsiynoyi bezpeky Ukrayiny»* 6.177-2005-09-02.

24. *Polozheniye o kontrole individual'nykh doz oblucheniya personala zony otchuzhdeniya, vvedennoye v deystviye prikazom nachal'nika DD-AZV i ZB(O)V* (2010) № 54.

25. Usenya, V., Goldammer, Y-G., Kashparov, V. and others: (2016) *Rukovodstvo dlya uchastnikov tusheniya lesnykh pozharov v belorusskom i ukrainskom sektorakh zony otchuzhdeniya Chernobyl'skoy AES*, Freiburg - Gomel - Kyiv, 70p.

26. Maglyovana, T.V., Dolin, V.V. *Zastosuvannya huaindynovykh polimeriv dlya preventyvnoyi obrobky lisovykh nasadzen'*. Patent UA, N 137115; 2019 (in Ukraine).

27. Maglyovana, T.V., Dolin, V.V. *Sposib hasinnya lisovykh pozhezh*. Patent UA, N 136998; 2019 (in Ukraine).

## КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ УКРАИНЫ

**Маглеваная Т.В.**, к.х.н., доц., Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины  
**Долин В.В.**, докт. геол. н., проф., ГУ «Институт геохимии окружающей среды» НАН Украины

В статье рассмотрены проблемные вопросы, касающиеся реализации экологического менеджмента и особенности его ведения в лесном хозяйстве на радиоактивно загрязненных территориях Украины. Проанализированы современные требования и рекомендации нормативных документов Украины и ЕС по природоохранной деятельности и сохранения биоразнообразия. Анализ данных спутниковой системы MODIS показал существенное влияние лесных пожаров, в частности на радиоактивно загрязненных территориях, на уменьшение площадей лесных экосистем. Пожары являются вторым по значимости, после вырубки, фактором уменьшения площадей лесных экосистем. Экологические проблемы радиоактивно загрязненных лесных экосистем можно преодолеть только при условии усовершенствования подходов, методик, стандартов с позиций экологического менеджмента. Показано, что основой экологического менеджмента радиоактивно загрязненных лесных экосистем является повышение их пожарной безопасности. Предотвращение и тушение лесных пожаров на радиоактивно загрязненных территориях является ключевой проблемой экологического менеджмента, требует разработки системы научно обоснованных мер противопожарной охраны и управления лесами, эффективных методов управления пожаротушением (отдаленные, безопасные, предотвращение пожаров, мониторинг, постоянные профилактические мероприятия), предотвращения чрезмерного облучения персонала и населения от различных источников, вторичного распространения радионуклидов вследствие пожаров на относительно чистые территории. В результате лесных пожаров радионуклиды в составе аэрозолей, газообразных продуктов сгорания (дыма и пыли) выносятся из лесных экосистем, создавая источник внешнего облучения, ингаляционного и перорального поступления радионуклидов. При этом теряется депонированная функция леса и увеличивается миграционная способность радионуклидов. Предложены меры по уменьшению дозы облучения личного состава пожарных подразделений при тушении лесного пожара, что возможно достичь с использованием гидродинамически активных водных огнетушащих веществ с одновременным прокладыванием перед фронтом пожара заградительных полос на основе солей полигексаметиленгуанидина.

**Ключевые слова:** экологический менеджмент, пожароопасность, лесные экосистемы, радиоактивное загрязнение, пожаротушения, водные огнетушащие вещества, полигексаметиленгуанидин.

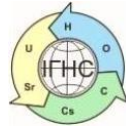
## KEY ISSUES FOR ECOLOGICAL MANAGEMENT OF RADIOACTIVE CONTAMINATED FOREST ECOSYSTEMS IN UKRAINE

**Maglyovana T.V.**, Ph.D., Associate Professor, Cherkasy Fire Safety Institute named after Heroes of Chernobyl, National University of Civil Protection of Ukraine, maglovana\_t@ukr.net

**Dolin V. V.** D. Sc. (Geol.), SI "Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine"

*The article discusses problematic issues related to the implementation of the environmental management and its specific features in forestry in the radioactively contaminated territories of Ukraine. The modern requirements and recommendations of regulatory documents of Ukraine and the EU on environmental protection and biodiversity conservation are analyzed. Analysis of the MODIS satellite system data showed a significant effect of forest fires, in particular in radioactively contaminated areas, on the decrease of the forest ecosystem areas. Fires are the second most important factor, after deforestation, of the forest ecosystem reduction. Ecological problems of radioactively contaminated forest ecosystems can be overcome only with the improvement of approaches, methods, and standards from the standpoint of the environmental management. It is shown that the basis of the environmental management of radioactively contaminated forest ecosystems is to increase their fire safety. Prevention and suppression of forest fires in radioactively contaminated areas is a key environmental management problem. It requires development of a system of scientifically based fire protection measures and forest management, effective fire extinguishing management methods (remote, safe, fire prevention, monitoring, and ongoing preventive measures), preventing excessive exposure of personnel and the public from various sources, the secondary spread of radionuclides due to fires into relatively clean areas. As a result of forest fires, radionuclides in the aerosols, gaseous products of combustion (smoke and dust) are removed from forest ecosystems, creating a source of external exposure, inhalation and ingestion of radionuclides. In this case, the depositing function of the forest is lost and the migration ability of radionuclides increases. Measures have been proposed to reduce the radiation dose of the personnel of the fire departments during extinguishing a forest fire, which can be achieved using hydrodynamically active water extinguishing agents with the simultaneous laying of barriers based on polyhexamethylene guanidine salts in front of the fire front.*

**Keywords:** environmental management, fire hazard, forest ecosystems, radioactive pollution, fire extinguishing, water extinguishing agents, polyhexamethylene guanidine.



<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.143>  
УДК 618.3.621.395

**Забулонов Ю.Л., Чарний Д.В., Одукалець Л.А., Архипенко О.М., Пугач О.В., Стоколос М.О., Тищенко І.В.**

**Забулонов Ю.Л.**, д.т.н., чл.-кор. НАН України, проф., ДУ «ІГНС НАН У», Zabulonov@nas.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4517-9927>  
**Чарний Д.В.**, д.т.н., с.н.с., ДУ «ІГНС НАН України», dmitriyich10@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4632-0558>  
**Одукалець Л.А.**, н.с., ДУ «ІГНС НАН України», laoduk@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2569-6406>  
**Архипенко О.М.**, м.н.с., ДУ «ІГНС НАН України» largha@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-0955-3704>  
**Пугач О.В.**, м.н.с., ДУ «ІГНС НАН України» rav281082@gmail.com  
**Стоколос М.О.**, м.н.с., ДУ «ІГНС НАН України» igns.ua@gmail.com  
**Тищенко І.В.**, гол. техн., ДУ «ІГНС НАН України» 1952zyl@gmail.com

## ЗМЕНШЕННЯ ОРГАНІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ТРАПНИХ ВОД АЕС ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАЗМИ БАР'ЄРНОГО РОЗРЯДУ

Очищення радіоактивно забруднених вод в Україні, як правило, здійснюють методом дистиляції. Кондиціонування утвореного сольового плаву вимагає проведення складних та дорогих технологічних операцій. Тому в розробках зарубіжних вчених, що стосуються переробки рідких радіоактивних відходів, спостерігається тенденція до мінімізації об'ємів активних вод. Одними з найбільш перспективних напрямків вилучення речовин з рідких середовищ є сорбційні технології. До їх переваг можна віднести простоту апаратурного оформлення, низькі енергозатрати та високу ефективність. В роботі розкрито необхідність попереднього зниження органічної складової трапних вод АЕС перед початком процесу адсорбції дозоутворюючих радіонуклідів. Обґрунтовано ефективність окиснення органічної складової цих вод за допомогою плазмової обробки, при отриманні плазми шляхом бар'єрного розряду на поверхні тонкого шару води. Встановлено, що найбільш ефективними є перші два енергетичні вклади, завдяки яким отримано високі показники енергоефективності обробки води на перших стадіях близько 50% при загальній ефективності 51,3%. Виявлено, що подальше підвищення енергетичного вкладу без зміни зовнішніх умов є малоефективним і призводить до збільшення концентрації азотних сполук. Спричинене цим ефектом суттєве підвищення концентрації окисів азоту в оброблюваній рідині провокує збільшення загального ХСК (хімічного споживання кисню). Розроблено регресійну модель зміни ХСК – вкладена енергії та наведено напрями подальшої інтенсифікації цих процесів. Як напрями підвищення ефективності електророзрядної обробки можливе застосування киснево – інертної газової без азотної суміші, або проведення процесу у кисневій атмосфері. Також можливим є напрям нейтралізації азотних сполук і похідних від них кислот за рахунок введення лугів і підвищення рН оброблюваних розчинів до 10 – 12.

**Ключові слова:** плазма, адсорбція, органіка, радіонукліди, розряд, бар'єрний, ХСК.

**Постанова питання.** Очищення радіоактивно забруднених вод в Україні, як правило, здійснюють методом дистиляції. Його застосування забезпечує максимальні коефіцієнти дезактивації та зниження об'єму, проте вимагає значних капіталовкладень та високих експлуатаційних затрат. Кондиціонування утвореного сольового плаву вимагає проведення складних та дорогих технологічних операцій. Тому в розробках зарубіжних вчених, що стосуються переробки рідких радіоактивних відходів - РРВ, спостерігається тенденція до мінімізації об'ємів активних вод, що піддаються випарюванню у відповідності з програмою РАО НАЭК - «Комплексна програма поводження з РАВ у ДП «НАЕК «Енергоатом» ПМ-Д.0.18.174-16, введена в дію розпорядженням від 12.10.2016 № 927-р. та з [1, 2].

Одними з найбільш перспективних напрямків вилучення речовин з рідких середовищ є сорбційні технології. До їх переваг можна віднести простоту апаратурного оформлення, низькі енерговитрати та високу ефективність [3, 4]. Застосування сорбційних процесів особливо актуальне у випадку необхідності очищення порівняно великих об'ємів РРВ. Однією з головних перешкод на шляху проведення ефективної адсорбційної очистки трапних вод за допомогою природних мінеральних сорбентів є суттєвий вміст органічних сполук різного походження. Основною складовою цих сполук є розчини миючих засобів, головним чином сертифікованого для використання на АЕС миючого засобу під маркою дезактивууючийого засобу «Щит-КС» ГОСТ, ТУ: ТУ У 20.4-31454306-001:2014. Структурна будова його молекул спричиняє ізоляцію

поверхонь сорбентів від розчину іонів Sr, Cs, Co, Mn, Fe, та інш. і таким чином мінімізує можливість контакту іонів металів з поверхнею сорбенту і відповідно унеможливує задовільне проходження адсорбційних процесів.

Серед нових технологій водоочищення одним з перспективних напрямків стало використання так званих передових окислювальних технологій (AOTs) [5, 6, 7, 8], в яких генерування сильних окислювачів ( $O_3$ ,  $O$ ,  $OH$ ,  $H_2O_2$ ) та ультрафіолетового випромінювання відбувається поблизу поверхні води, що оброблюється. Одним із можливих рішень з генерації цих окиснювачів є їх утворення за допомогою плазмової обробки, з отриманням плазми різноманітними типами розрядів.

**Доцільність розробки та впровадження технологій AOTs і експериментальна установка.** Доцільність застосування подібних технологій визначається величиною питомих енерговитрат на обробку води, експлуатаційними витратами, а також вартістю виготовлення та монтажу обладнання [6]. В найбільшій мірі цим критеріям відповідає використання в AOTs високовольтних електричних розрядів, серед яких імпульсний бар'єрний розряд (ІБР), що здійснюється на поверхню оброблюваної води, має найвищий енергетичний вихід [8], який обчислюється як відношення кількості розкладеної під дією розряду забруднювача води до вкладеної при цьому в розряд енергії. Комплекс для обробки води таким розрядом складається з двох основних частин: генератора імпульсів (ГІ) рис. 1. та розрядної камери (РК) рис. 2. ГІ повинен забезпечувати на навантаженні (РК) короткі імпульси напруги ( $\sim 100\text{--}200$  нс) з крутизою їх фронту понад  $10^{11}$  В/с. З економічної та практичної точок зору оптимальними величинами амплітуд імпульсів напруги є  $10\text{--}30$ кВ, а частота їх повторення  $10\text{--}200$ Гц [5, 7- 9]. Найбільш оптимальними умовами обробки води є такі, коли ІБР в РК діє на тонку плівку води ( $\approx 0,15$ мм) або на її краплі малих розмірів ( $<1$ мм). Оскільки РК є навантаженням ГІ, то ефективність використання енергії, отриманої комплексом від зовнішнього джерела, залежить від взаємної узгодженості їх параметрів. Як показує досвід [10], умови, за яких енергетичний вихід ІБР є найбільшим, в загальному випадку не є оптимальними для передачі енергії ГІ в РК. Тому метою роботи було визначення шляхів отримання найбільш ефективного використання енергії та зменшення її втрат в комплексі для обробки води ІБР. При вирішенні цієї задачі був, як базовий, використаний ГІ [2] та РК, що забезпечувала можливість «плівкової» обробки води ІБР.

До складу експериментальної установки входили РК, ГІ, засоби діагностики тощо. РК, яка схематично представлена на рисунку 1, була коаксійного типу з внутрішнім циліндричним електродом 2 із нержавіючої сталі з діаметром 32,6мм. Зовні електроду 2 знаходилася трубка 4 з електротехнічного скла з зовнішнім та внутрішнім діаметрами 39 та 37,4мм відповідно. Поверх неї було щільно намотано шар алюмінієвої фольги 3 - другий (високовольтний) електрод. Довжина внутрішнього електроду складала 250мм. Введення та виведення в РК води та газу (повітря атмосферного тиску) здійснювалося відповідно через патрубку 7 та 6. Вода після надходження в РК рівномірним тонким шаром 1 ( $\sim 0,15$ мм) стікала вниз по електроду 2. Для запобігання утворення струминок на гідрофобній поверхні електроду його було вкрито тонким (0,1мм) шаром склотканини.

Принципова електрична схема ГІ зображена на рисунку 6.2. Принцип побудови наступний: спочатку від первинного накопичувача енергії  $C_0$  заряджається конденсатор  $C_1$ , який потім комутується тиристором  $VS$ , внаслідок чого енергія від конденсатора  $C_1$  через трансформатор  $T$  передається в високовольтну частину ГІ. Отримані при цьому імпульси в подальшому підлягають магнітному стисканню. В вихідному контурі ГІ використано напівпровідниковий переривник струму  $VD_3$  з малим часом переривання зворотного струму ( $\sim 40$ нс). Більш детально ГІ та його функціонування описані в [2].

**Головні сгенеровані окиснювачі органічних сполук.** Застосування електророзрядної (плазмової) обробки дозволяє синтезувати широкий спектр природних окислювачів – як довго живучий  $O_3$ , так і коротко живучі (момент розряду)  $R(OH)$ ,  $H_2O_2$ ,  $O$ , а також ефект ультрафіолетового опромінення. Це дозволяє наситити воду киснем, а завдяки сумарній дії синтезованих окислювачів розпочати інтенсифікований процес окислення органічних та неорганічних сполук, які зумовлюють погіршення якості води. Провідну роль в окисних процесах грає гідроксильний радикал. Його окисний потенціал - 2,87 В. Це більше, ніж в озону (2,07 В) і перекису водню (1,77 В). У зв'язку із цим діапазон речовин, що можуть бути ним окислені ширше, ніж у звичайних окислювачів. Реакціям гідроксильного радикала із забрудненнями властиві високі швидкості й неселективність. При цьому найбільш характерними для них є реакції відриву електрона.



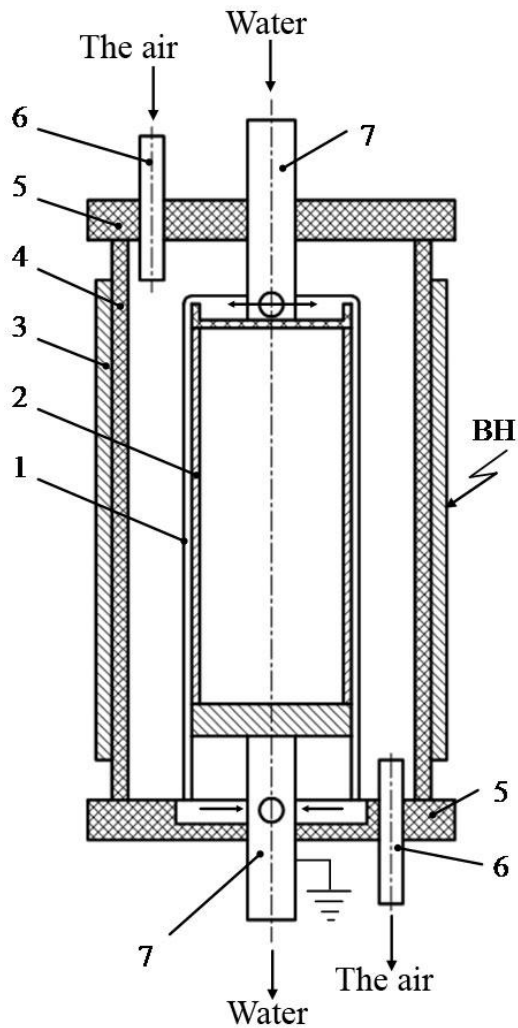


Рис. 1. Розрядна камера (ПК)  
Fig. 1. Discharge camera (DC)

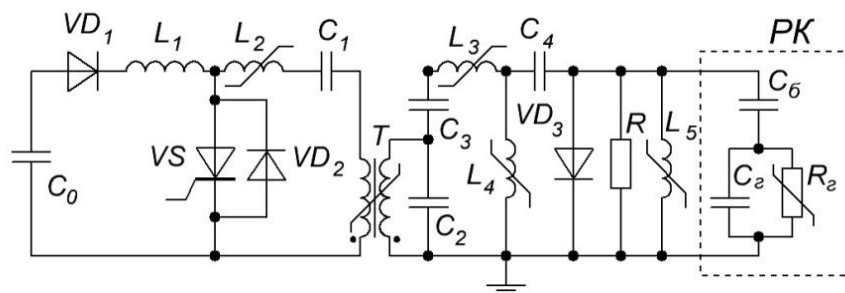


Рис. 2. Принципова електрична схема ПГ  
Fig. 2. Schematic diagram of the PG

**Методика визначення ХСК.** Вміст органічної складової визначався за біхроматною окиснюваністю (надалі ХСК – хімічне споживання кисню). Визначення ХСК проводилося відповідно до методики визначення ХСК згідно вимог виробника обладнання міжнародної корпорації - HACH-Lange спектрофотометру DR-2800 за допомогою віал з готовим розчином – № 22758 - 00.

**Результати дослідів.** Ефективність обробки визначалась за зниженням ХСК у порівнянні з енерговитратами. Зниження ХСК модельного розчину при обробці за допомогою бар'єрного розряду з формуванням плазми на розділі фаз рідина – газ табл.1.

**Табл. 1.** Зміна ХПК модельного розчину (дистилят – "ЩитКС") в залежності від вкладеної питомої енергії.  
**Table 1.** Modification of COD of the model solution (distillate - "CS Shield") depending on the specific energy input

Питома вкладена енергія, кВт/м <sup>3</sup>	ХПК, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
0	466
2	314
4	266
6	227

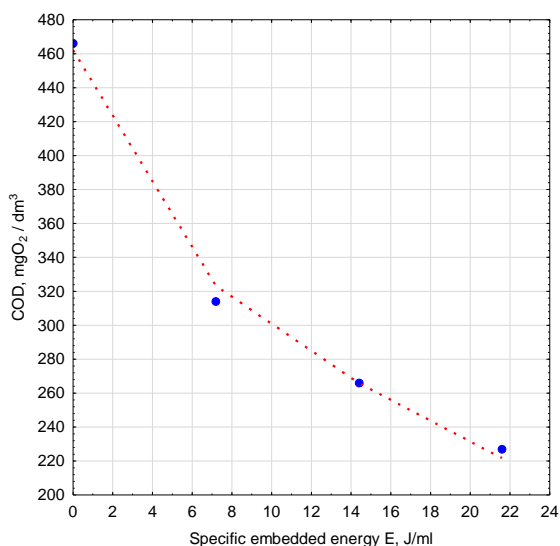
Графік окиснення плазмою бар'єрного розряду модельного розчину "ЩитКС" і його регресійна модель рис. 3.

Рівняння моделі окиснення розчину "ЩитКС" за допомогою плазми бар'єрного розряду (1):

$$ХСК = 4632,087 - 51,714 \cdot \sqrt{E} \quad (1)$$

де ХСК – хімічне споживання кисню, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>; E – Питома вкладена енергія, Дж/мл.

Множинна кореляція – R = 0,998; детермінація – R<sup>2</sup> = 0,996; приведена детермінація R<sup>2</sup> = 0,994; Фішера F(1,2)=504,56 p<0,00198 Std.Error of estimate: 8,0596



**Рис. 3.** Залежність зміни ХСК від обробки плазмою бар'єрного розряду модельного розчину

**Fig. 3.** Dependence of the change in HCC on plasma barrier processing of the model solution

Відомим фактом є те, що при електричному розряді в повітрі відбувається окиснення азоту. Тому при обробці води імпульсними розрядами в гетерогенно-му середовищі вода – повітря відбувається збільшення концентрації нітрат-іонів. Для визначення залежності концентрації нітрат-іонів CNO<sub>3</sub> у воді, яку було піддано обробці імпульсним бар'єрним розрядом (ІБР), від питомої енергії розряду Wp, проведено дослід, при якому ІБР здійснювався на рухливу тонку (~

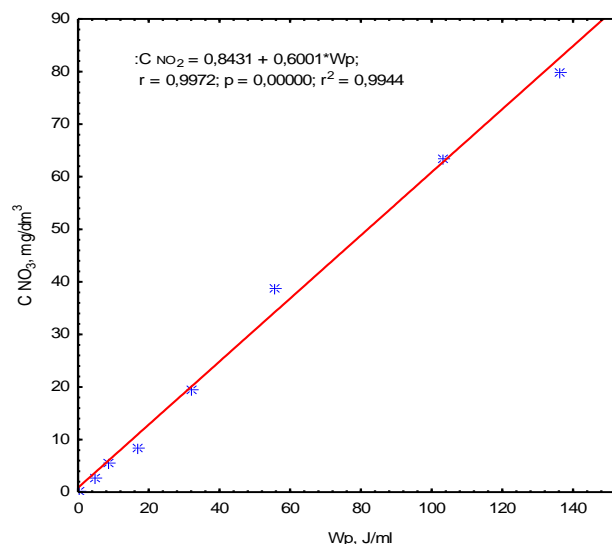
0,15-0,5 мм) плівку водопровідної води. Величина Wp визначалася за виразом (2):

$$Wp = \frac{f}{Q} \int I_p U_p dt \quad (2)$$

де f - частота проходження імпульсів ІБР; Q - витрата оброблюваної води; I<sub>p</sub>, U<sub>p</sub> - відповідно струм і напруга ІБР під час t проходження імпульсу ІБР. Концентрація нітрат-іонів CNO<sub>3</sub> у воді визначалася за допомогою фотоколориметру AQ4000 за методикою виробника приладу.

Результати експерименту наведено у вигляді графіка на рис. 4.

Слід звернути увагу, що максимально допустимі концентрації нітрат-іонів CNO<sub>3</sub> в питній водопровідній воді (<= 50,0 мг/дм<sup>3</sup>, відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10) в обробленій ІБР воді досягаються при Wp ~ 70 Дж/мл. Це є дуже суттєвим вкладом питомої енергії розряду.



**Рис. 4.** Залежність концентрації нітрат-іонів CNO<sub>3</sub>, у воді, обробленій ІБР, від питомої енергії розряду.

**Fig. 4.** Dependence of the concentration of CNO<sub>3</sub> nitrate ions on the specific energy of the discharge in water treated with IBD.

**Висновки.** Досліджено енергоефективність імпульсного бар'єрного розряду при обробці модельного розчину трапних вод АЕС в процесі електророзрядної обробки води за допомогою плазми розряду.

1. Найбільш ефективними є перші два енергетичних вклади, завдяки яким отримано високі показники енергоефективності обробки води на перших стадіях – близько 50% при загальній ефективності 51,3%.

2. Подальше підвищення енергетичного вкладу без зміни зовнішніх умов є малоєфективним і призводить до збільшення концентрацій азотних сполук.

3. В процесі електророзрядної обробки води утворюються суттєві об'єми розчинних азотних сполук,

які у свою чергу асимптотично підвищують ХСК пропорційно до вкладеної енергії.

6. Як напрями підвищення ефективності електро-розрядної обробки можливе застосування киснево – інертної газової без азотної суміші, або проведення процесу у кисневій атмосфері.

7. Також можливим є напрям нейтралізації азотних сполук і похідних від них кислот за рахунок введення лугів і підвищення рН оброблюваних розчинів до 10 – 12.

#### Умовні позначення.

РРВ рідкі радіоактивні відходи

РАВ радіоактивні відходи

АОТs передові окислювальні технології

ІБР імпульсний бар'єрний розряд

ГІ генератора імпульсів

РК розрядна камера

ХСК хімічне споживання кисню (біхроматне)

#### Література

1. Батюхнова, О. Г. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами: серия учебных курсов [Текст] / О. Г. Батюхнова, К. Бергман, В. М. Ефременков, и др. - Вена: МАГАЯО - 2005. - 230 с.

2. Ключников, А. А. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними [Текст] / А. А. Ключников, . М. Пазухин, Ю. М. Шигера - К.: Институт проблем безопасности АС НАН України, 2005. - 487 с.

3. Dabrowski, A. Adsorption from theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science*. - 2001. - Vol. 93. - P. 135-224.

4. Cooney, D. O. *Adsorption design for wastewater treatment* / D. O. Cooney - Boca Raton, FL, 1999. - 190 p.

5. Mirjana M. Kostich, Jelena Nesich, Dragan D. Manojlovich. Decolorization of reactive textile dyes using water falling film dielectric barrier discharge. *Journal of Hazardous Materials*. – 2011. – №192. – P. 763 – 771.

6. Bo Jiang, Jingtang Zheng, Shi Qiu, Qinhuai Zhang, Zifeng Yan, Qingzhong Xue. Review on electrical discharge plasma technology for wastewater. *Chemical Engineering Journal*. – 2014. - №236. – Pp. 348-363.

7. V. I. Grinevich, E. Y. Kvitkova, N. A. Plastinina, V. V. Rybkin. Application of Dielectric Barrier Discharge for Waste Water Purification. *Plasma Chem Plasma Process*, – 2011. – №31. – P.573–583.

8. Malik M.A. Synergistic effect of plasmacatalyst and ozone in a pulsed corona discharge reactor on the decomposition of organic pollutants in water. *Plasma Sources Sci. Technol*. – 2003. – № 12. – P. 526-532.

9. Monica Magureanu, Daniela Piroi, Nicolae Bogdan Mandache, Vasile Parvulescu. Decomposition of methylene blue in water using a dielectric barrier discharge: Optimization

of the operating parameters. *Journal of Applied Physics*. – 2008. – №104. – P.103306-1 – 103306-7

10. Taichi Sugai; Akira Tokuchi; Weihua Jiang; Yasushi Minamitani. Investigation for Optimization of an Inductive Energy Storage Circuit for Electrical Discharge Water Treatment. *IEEE Transactions on Plasma Science*. – 2014. – Volume № 42. – Issue №10. – P. 3101 – 3108.

#### References

1. Batyukhnova, O. G., Bergman, K., & Yefremenkov V. M. (2005), *Tekhnologicheskie i organizatsionnye aspekti obrashcheniya s radioaktivnimi otkhodami: seriya uchebnykh kursov* [Technological and Organizational Aspects of Radioactive Waste Management: A Series of Training Courses], MAGAYu Vena.(in Russ.)

2. Klyuchnikov, A. A., Pazukhin, M. & Shigera, Yu. M. (2005), *Radioaktivnye otkhody AES i metody obrashcheniya s nimi* [Radioactive waste of nuclear power plants and methods of handling them], Institut problem bezopasnosti AS NAN Ukraini, Kiev, (in Russ)

3. Dabrowski, A. (2001), “Adsorption from theory to practice”, *Advances in Colloid and Interface Science*, No 93, pp. 135 – 224.

4. Cooney, D. O. (1999), *Adsorption design for wastewater treatment*, Boca Raton, FL.

5. Kostich, Mirjana M., Nesich, Jelena & Dragan, D. (2011), “Manojlovich. Decolorization of reactive textile dyes using water falling film dielectric barrier discharge”, *Journal of Hazardous Materials*, No 192, pp. 763 – 771.

6. Jiang, Bo, Zheng, Jingtang, Qiu, Shi, Zhang, Qinhuai, Yan, Zifeng & Xue, Qingzhong (2014), “Review on electrical discharge plasma technology for wastewater”, *Chemical Engineering Journal*, No 236, pp. 348-363.

7. Grinevich, V. I., Kvitkova, E. Y., Plastinina, N. A. & Rybkin, V. V. (2011), “Application of Dielectric Barrier Discharge for Waste Water Purification”, *Plasma Chem Plasma Process*, No 31, pp. 573–583.

8. Malik M.A. (2003), “Synergistic effect of plasmacatalyst and ozone in a pulsed corona discharge reactor on the decomposition of organic pollutants in water”, *Plasma Sources Sci. Technol*, No 12, pp. 526-532.

9. Magureanu, Monica, Piroi, Daniela, Bogdan Mandache, Nicolae & Parvulescu Vasile (2008), “Decomposition of methylene blue in water using a dielectric barrier discharge: Optimization of the operating parameters”, *Journal of Applied Physics*, No 104, pp. 103306-1 – 103306-7.

10. Sugai, Taichi; Tokuchi, Akira; Jiang, Weihua & Minamitani, Yasushi (2014), “Investigation for Optimization of an Inductive Energy Storage Circuit for Electrical Discharge Water Treatment” , *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. 42, No 10, pp. 3101 – 3108.

## УМЕНЬШЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТРАПНЫХ ВОД АЭС С ПОМОЩЬЮ ПЛАЗМЫ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

**Забулонов Ю.Л.**, д.т.н., чл.-корр. НАН Украины, проф., ГУ «ИГОС НАН Украины», Zabulonov@nas.gov.ua

**Чарный Д.В.**, д.т.н., с.н.с., ГУ «ИГОС НАН Украины», dmitriych10@gmail.com

**Одукалец Л.А.**, н.с., ГУ «ИГОС НАН Украины», laoduk@i.ua

**Архипенко О.Н.**, м.н.с., ГУ «ИГОС НАН Украины» largha@i.ua

**Пугач А.В.**, м.н.с., ГУ «ИГОС НАН Украины» pav281082@gmail.com

**Костер Н.А.**, м.н.с., ГУ «ИГОС НАН Украины» igns.ua@gmail.com

*Очистку радиоактивно загрязненных вод в Украине, как правило, осуществляют методом дистилляции. Кондиционирование образованного солевого плава требует проведения сложных и дорогих технологических операций. Поэтому в разработках зарубежных ученых, касающихся переработки жидких радиоактивных отходов, наблюдается тенденция к минимизации объемов активных вод. Одними из наиболее перспективных направлений извлечения веществ из жидких сред являются сорбционные технологии. К их достоинствам можно отнести простоту аппаратного оформления, низкие энергозатраты и высокую эффективность. В работе раскрыта необходимость предварительного снижения органической составляющей трапных вод АЭС перед началом процесса адсорбции дозообразующих радионуклидов. Обоснована эффективность окисления органической составляющей этих вод с помощью плазменной обработки, при получении плазмы путем барьерного разряда на поверхности тонкого слоя воды. Установлено, что наиболее эффективными являются первые два энергетических вклада благодаря которым получены высокие показатели энергоэффективности обработки воды на первых стадиях около 50% при общей эффективности 51,3%. Выявлено, что дальнейшее повышение энергетического вклада без изменения внешних условий является малоэффективным и приводит к увеличению концентраций азотных соединений. Вызванное этим эффектом существенное повышение концентраций окислов азота в обрабатываемой жидкости провоцирует увеличение общего ХПК (химического потребления кислорода). Разработана регрессионная модель изменения ХПК - вложена энергия и приведены направления дальнейшей интенсификации этих процессов. Как направления повышения эффективности электроразрядной обработки возможно применение кислородно - инертной газовой без азотной смеси или проведения процесса в кислородной атмосфере. Также возможно направление нейтрализации азотных соединений и производных от них кислот за счет введения щелочей и повышение pH обрабатываемых растворов до 10 - 12.*

**Ключевые слова:** плазма, адсорбция, органика, радионуклиды, разряд, барьерный, ХПК.

## DECREASE OF ORGANIC COMPONENT OF APPROACH WATERWAYS BY AUXILIARY BARRIER DISPLAY PLASMA

**Zabulonov Y.L.**, D.Sc. (Tech.), member of corr. National Academy of Sciences of Ukraine, prof., State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», Zabulonov@nas.gov.ua

**Charniy D.V.**, D.Sc. (Tech.), Senior Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», dmitriych10@gmail.com

**Odukalets L.A.**, Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», laoduk@i.ua

**Arhipenko A.N.**, Jun. Res., State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», largha@i.ua

**Pugach A.V.**, Jun. Res., State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», pav281082@gmail.com

**Stokolos N.A.**, Jun. Res., State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», igns.ua@gmail.com

*As usual radioactively contaminated water in Ukraine is purified by distillation. Conditioning of the formed salt melt requires complex and expensive technological operations. Therefore, the researches of foreign scientists concerning the treatment of liquid radioactive waste are directed at minimizing the radioactive water volume. One of the most promising areas for extracting substances from liquid media is sorption technologies. Their advantages include simplicity of hardware design, low power inputs and high efficiency. The necessity of the preliminary reduction of the organic component in NPP drain water before the process of adsorption of dose-forming radionuclides is disclosed. The efficiency of oxidation of the organic constituent of these waters by means of plasma treatment is achieved when plasma is obtained by a barrier discharge on the surface of a thin layer of water. It is established that the first two energy contributions are the most effective. Owing to them the efficiency of water treatment at the first stages was about 50%, with the general efficiency 51.3%. It is revealed that further increase of energy contribution without change of external conditions is ineffective and leads to increase of concentrations of nitrogen compounds. Due to this effect, a significant increase in the concentrations of nitrogen oxides in the treated liquid initiates an increase in total COD. A regression model of COD – applied energy has been developed and directions for further intensification of these processes are outlined. To use oxygen - inert gas without nitrogen mixture or to carry out the process in an oxygen atmosphere is possible as ways to increase the efficiency of electrodischarge processing. It is also possible to neutralize the nitrogen compounds and their acids by introducing alkalis and increasing the pH of the treated solutions to 10-12.*

**Key words:** plasma, adsorption, organics, radionuclides, discharge, barrier, COD.

## ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ

Збірника наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища

До опублікування у Збірнику приймаються наукові праці, які ніколи не друкувалися раніше. Стаття має бути написана на актуальну тему, містити результати глибокого наукового дослідження, новизну та обґрунтування наукових висновків відповідно до мети статті (поставленого завдання). Кожен автор може подати не більше двох статей в одному випуску.

Рукописи приймаються обсягом 6-15 сторінок (разом з літературою, розширеними анотаціями) формату А-4, через **1,5 інтервали для основного тексту, та 1 інтервал для анотацій та літератури. Поля: всі – по 2 см, абзац – відступ на 1,25 см. Шрифт основного тексту: Times New Roman, розмір – 12; шрифт анотацій та літератури – 10pt.**, виконані на комп'ютері у редакторі Word for Windows (\*.doc). Для набору формул, графіків і таблиць використовують спеціальні програми, вмонтовані у Word for Windows. **У статті не повинно бути переносів слів.** Номери сторінок не проставляти.

Статті подаються українською, російською чи англійською мовами у друкованому вигляді та в електронному варіанті (електронною поштою чи на електронному носії).

Питання, пов'язані з публікацією наукових оглядів (не більше 9000 слів і 10 рисунків), вирішуються редколегією на підставі заздалегідь наданої авторами розширеної анотації роботи та транслітерованого списку літератури.

Кожна стаття повинна мати код «УДК» (вгорі ліворуч). Нижче зліва – назва статті великими літерами (шрифт напівжирний Times New Roman, розмір – 12), вирівнювання по лівому краю. Нижче – прізвище та ініціали авторів, (звичайними літерами, шрифт напівжирний, прямий, розмір – 12). З нового рядка : прізвище та ініціали кожного з авторів із зазначенням наукового звання, посади, установи, де працює автор, електронної адреси (розмір – 8). **Назва, ПІБ, посади, наукові звання, ORCID та адреси дублюються англійською та російськими мовами перед відповідними анотаціями.**

### План статті:

1. вступ – постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
2. останні дослідження та публікації, на які спирається автор, виділення невирішених частин загальної проблеми, котрим присвячується дана стаття;
3. мета статті (постановка завдання);
4. виклад власне матеріалу дослідження;
5. висновки та перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.

### Обов'язкові вимоги до анотацій, які повинні бути:

- інформативними (без загальних слів);
- структурованими (відобразити послідовну логіку опису результатів у статті);
- змістовними (відобразити основний зміст статті; описувати основні цілі дослідження; висвітлювати найбільш значущі результати);
- містити конкретизацію авторського внеску (що розроблено, що запропоновано, що виявлено і т.д.);
- не містити посилань та аббревіатури.

**Анотація українською та англійською мовами обов'язкові та мають містити кожна не менше 1800 знаків.**

*Таблиці* повинні мати назви. Шрифт *TimesNewRoman* (розмір 10 pt).

*Ілюстрації* надавати в електронному вигляді у форматі *COREL, TIF, JPG* з роздільною здатністю 300 dpi для напівтонових рисунків, 600 dpi — для штрихових. **Текстові написи на рисунках, незалежно від мови статті, повинні бути англійською.**

*Бібліографія.* Посилання на джерела використаних матеріалів, фактичних та статистичних даних є обов'язковими і подаються у тексті у хронологічному порядку цифрою у квадратних дужках, Назви праць у списку літератури розміщують в порядку цитування в тексті.

**Список літератури.** Список використаної літератури оформлюється відповідно до вимог ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

**References.** Відповідно до вимог міжнародних наукометричних баз – згідно зі стандартом *Harvard* ([www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2](http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2)). Бібліографічні дані повинні містити (транслітеровані латиницею) прізвища та ініціали всіх авторів статті/книги, рік публікації (в круглих дужках), назву журналу/книги, том і номер випуску журналу, (для книг – видавництво і місце видання), сторінковий інтервал статті, DOI (за наявності). Посилання в тексті на опубліковані літературні джерела слід наводити **цифрами у квадратних дужках**, що відповідають порядковому номеру джерела у пристатейному списку.

**Посилання на неопубліковані матеріали не дозволяються.**

**Наприклад:**

**Література**

1. Тарасевич Ю.И. Строеие и химия поверхности слоистых силикатов. Киев: Наук. Думка, 1988. 248 с.
2. Пушкарьов О.В., Приймаченко В.М. Взаємодія тритієвої води з глинистими мінералами *Зб. наук. пр. Ін-ту геохімії навколиш. середовища*. 2010. Вип. 18. с. 149—161.
3. Ali A.A., El-Bishtawi R. Removal of lead and nickel ions using zeolite tuff. *J. Chem. Technol. and Biotechnol.* 1997. 69. p. 27—34.

**References**

1. Tarasevich, Yu.I. (1988), *Stroenie i himiya poverhnosti sloistyh silikatov*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 248 p.
2. Pushkar'ov, O.V. and Priymachenko, V.M. (2010), *Zb. nauk. pr. Inst. Geohimii Navkolyshn'ogo Seredovyshcha*, Kyiv, UA, Vyp. **18**:149—161.
3. Ali, A.A. and El-Bishtawi, R. (1997), *J. Chem. Technol. and Biotechnol.*, **69**: 27—34.

Матеріали, що публікуються в журналі, підлягають внутрішньому і зовнішньому рецензуванню, яке здійснюють члени редколегії журналу, фахівці відповідної галузі. Рецензування проводиться конфіденційно. **У разі негативної рецензії чи наявності суттєвих зауважень, стаття може бути відхилена або повернута авторові (авторам) на доопрацювання.**

**Стаття, подана без дотримання зазначених вимог, опублікуванню не підлягає. Відповідальність за достовірність інформації, фактів та інших відомостей, посилань на нормативні акти, цитати, власні імена, а також правильність перекладу несуть автори публікації.**

**До статті авторів з інших установ повинен додаватись акт експертизи даної установи щодо можливості відкритої публікації поданих матеріалів.**

Редакція залишає за собою право вносити орфографічні, лексичні та синтаксичні зміни у матеріал статей без узгодження з авторами за умови збереження змісту.

До тексту статті обов'язково додається авторська довідка про всіх співавторів

*Редколегія Збірника звертається до авторів з проханням дотримуватись належних вимог щодо оформлення поданих статей*

ГЕОХІМІЯ ТЕХНОГЕНЕЗУ  
ГЕОХИМИЯ ТЕХНОГЕНЕЗА  
GEOCHEMISTRY OF TECHNOGENESIS

випуск 3 (31)

Підписано до друку: січень 2020р.