

УДК 504+550+551+552+624

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

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

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

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

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

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

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ РЕДАКТОР**РЕДАКЦІЙНА
КОЛЕГІЯ**

В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

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

Іноземні члени редакційної колегії:

А. Веснавер, Італійський національний інститут океанографії та прикладної геофізики, Італія; Т. Діндароглу, Університет Кахраманмарас Сутцу Імам, Туреччина; К. Зенг, Китайський геологічний університет; Китай, О. Івахненко, Казахстансько-Британський технічний університет, Казахстан; Г. Кулієв, Інститут геології та геофізики НАН Азербайджану; К. Лі, Китайський геологічний університет, Китай; М. Олівія, Лісабонський університет, Португалія; П. Перейра, Університет Миколаса Ромеріса, Литва; В. Портнов, Карагандинський державний технічний університет, Казахстан; С. Спассов, Геофізичний центр Доурбес, Бельгія; В. Шмідт, Університет Мюнстера, Німеччина

Адреса редколегії

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

Затверджено

Вченою радою ННІ "Інститут геології"
24 вересня 2019 року (протокол № 2)

Атестовано

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

Зареєстровано

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

Засновник
та видавець

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

Адреса видавця

кімн. 43, 6-р Тараса Шевченка, 14, Київ, 01030,
☎ (38044) 239 31 72, 239 32 22; факс 239 31 28

UDC 504+550+551+552+624

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

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

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

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

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

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

Chief publication manager O. Menshov

EXECUTIVE EDITOR**EDITORIAL BOARD**

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

Ukrainian Members:

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

Foreign members:

T. Dindaroğlu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Turkey; H. Guliyev, Institute of Geology and Geophysics of ANAS, Azerbaijan; O. Ivakhnenko, Kazakh British Technical University, Kazakhstan; Q. Liu, China University of Geosciences, China; M. Olivia, University of Lisbon, Portugal; P. Pereira, Mykolas Romeris University, Lithuania; V. Portnov, Karaganda State Technical University, Kazakhstan; V. Schmidt, Münster University, Germany; S. Spassov, Geophysical Center of Dourbes, Belgium; A. Vesnaver, Italian National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, Italy; Q. Zeng, China University of Geosciences, China

Address

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

Approved by the

Academic Council of the Institute of Geology
September 24, 2019 (Minutes #2)

Certified by the

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

Certified by the

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

Founded and published by

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

Address:

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

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

Калиній Т., Омельченко В. Геоморфологія, неотектоніка та палеогеографія території геологічної пам'ятки "Старуня".....	6
---	---

ГЕОФІЗИКА

Кулієв Г., Агаєв Х., Мехралієв Ф., Ахмедова Е. До проблеми визначення фізичних властивостей складнопобудованих середовищ із використанням методу Near-Surface Crosswell	13
Безродна І., Вижва С. Аналіз акустичних властивостей порід-колекторів Руновщинської площі на основі петрофізичних досліджень у різних баричних умовах	21

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Ткач О., Цвих В., Хилько М., Батрименко О., Неліпа Д. Нафтогазовий фактор у зовнішній політиці країн Латинської Америки.....	27
--	----

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Манк В., Тонха О., Галімова В., Суровцев І., Меньшов О., Бикова О., Роговський І. Електрохімічне дослідження процесів поглинання кобальту ґрунтами України.....	34
Кузьменко Е., Багрій С., Федорів В., Штогрин М., Дзьоба У. Визначення джерел забруднення підземних вод нафтопродуктами (на прикладі території Солотвино в Прикарпатті).....	40

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Зеленський О. Використання В-сплайнів при розробці автоматизованої системи геолого-маркшейдерського забезпечення	48
Вижва З., Демидов В., Вижва А. Статистичне моделювання випадкового поля на плоскій області з кореляційною функцією типу Уїттлі-Матерна в геофізичній задачі моніторингу довкілля	55
Удовиченко В. Біоцентрично-мережна конфігурація лісостепових ландшафтних комплексів Лівобережної України: метризація та оцінювання для потреб імплементації ландшафтного планування	62
Іванік О., Шевчук В., Кравченко Д., Гадяцька К. Національна база даних зсувних процесів: принципи розробки, упровадження та застосування для оцінки зсувної небезпеки регіонального та локального рівня.....	70
Гетманець О., Некос А., Пеліхатий М. Кластерний аналіз і радіаційний моніторинг довкілля.....	75
Тютюнник Ю., Шабатура О., Блюм О., Дауніс-і-Естадел'я Дж. Геостатистичний аналіз атмогеохімічного поля в приземному шарі атмосфери Північної України (за даними біогеохімічної індикації)	80

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Kalynii T., Omelchenko V.

Geomorphology, neotectonics and paleogeography of the natural geological monuments on "Starunia" territory6

GEOFYSICS

Guliyev H., Aghayev Kh., Mehraliyev F., Ahmadova E.

Determination of the physical properties of complexly constructed media using Near-Surface Crosswell method.....13

Bezrodna I., Vyzhva S.

Analysis of acoustic properties of reservoir rocks from Runovschynska field on the basis of petrophysical studies
in various pressure conditions21

MINERAL RESOURCES

Tkach O., Tsvykh V., Khylo M., Batrymenko O., Nelipa D.

Oil and gas factor in the foreign policy of Latin America27

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Mank V., Tonkha O., Galimova V., Surovtsev S., Menshov O., Bukova O., Rogovskiy I.

Electrochemical investigation of cobalt absorption processes by soils of Ukraine34

Kuzmenko E., Bagriy S., Fedoriv V., Shtogrin N., Dzoba U.

Determination of the petroleum pollution sources for groundwater (on the example of Solotvino territory
in the Precarpathians).....40

GEOLOGICAL INFORMATICS

Zelensky A.

Use of B-splines in development of automated geological-surveying support system48

Vyzhva Z., Demidov V., Vyzhva A.

Statistical simulation of random field on 2d area with Whittle-Matern type correlation function
in the geophysical problem of environment monitoring55

Udovychenko V.

Biocentric-networking configuration of the forest-steppe landscapes of the left bank of Ukraine: metrization
and assessment for the purpose of the landscape planning implementation62

Ivanik O., Shevchuk V., Kravchenko D., Hadiatska K.

National database of landslide processes: principles of development, implementation and application
for landslide hazard assessment on regional and local levels70

Getmanets O., Nekos A., Pelikhatyi M.

Cluster analysis and radiation monitoring of environment75

Tyutyunnik Yu., Shabatura O., Blum O., Daunis-i-Estadella J.

Geostatistical analysis of the atmogeochemical field in the prior layer of the atmosphere of
Northern Ukraine (bryogeochemical indication data)80

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Калыний Т., Омельченко В.

Геоморфология, неотектоника и палеогеография территории геологического памятника "Старуня"6

ГЕОФИЗИКА

Кулиев Г., Агаев Х., Мехралиев Ф., Ахмедова Э.

К проблеме определения физических свойств сложнопостроенных сред
с применением метода Neaer-Surfase Croswell13

Безродная И., Выжва С.

Анализ акустических свойств пород-коллекторов Руновщинской площади
на основе петрофизических исследований в разных барических условиях21

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ткач О., Цвих В., Хилько Н., Батрименко О., Нелипа Д.

Нефтегазовый фактор во внешней политике стран Латинской Америки27

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Манк В., Тонха О., Галимова В., Суровцев И., Меньшов О., Быкова О., Роговский И.

Электрохимическое исследование процессов поглощения кобальта почвами Украины34

Кузьменко Э., Багрий С., Федорив В., Штогрин Н., Дзьоба У.

Определение источников загрязнения подземных вод нефтепродуктами
(на примере территории Солотвино в Прикарпатье)40

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Зеленский А.

Использование В-сплайнов при разработке автоматизированной системы
геолого-маркшейдерского обеспечения48

Выжва З., Демидов В., Вижва А.

Статистическое моделирование случайного поля на плоской области с корреляционной функцией
типа Уиттл-Матерна в геофизической задаче мониторинга окружающей среды55

Удовиченко В.

Биоцентрически-сетевая конфигурация лесостепных ландшафтных комплексов левобережной Украины:
метризация и оценивание для нужд имплементации ландшафтного планирования62

Иваник Е., Шевчук В., Кравченко Д., Гадяцкая Е.

Национальная база данных оползневых процессов: принципы разработки, внедрения и применения
для оценки оползневой опасности на региональном и локальном уровнях70

Гетманец О., Некос А., Пелихатый Н.

Кластерный анализ и радиационный мониторинг окружающей среды75

Тютюнник Ю., Шабатура А., Блюм О., Даунис-и-Естаделья Х.

Геостатистический анализ атмогеохимического поля в приземном слое атмосферы центральной части
Северной Украины (по данным бриогеохимической индикации)80

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 551.432+551.248+551.8(477.8)

Т. Калиній, асист.,
В. Омельченко, канд. геол. наук, доц.
E-mail: ovgeo@ukr.net
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

ГЕОМОРФОЛОГІЯ, НЕОТЕКТОНІКА ТА ПАЛЕОГЕОГРАФІЯ ТЕРИТОРІЇ ГЕОЛОГІЧНОЇ ПАМ'ЯТКИ "СТАРУНЯ"

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

Дослідження геоморфологічних і неотектонічних особливостей геологічної пам'ятки "Старуня" дозволяють реконструювати палеогеографічні умови та геологічний вік знахідок плейстоценової фауни волохатих шерстистих носорогів і мамонта у всевітньовідомому їхньому палеонтологічному місцезнаходженні поблизу села Старуня на Прикарпатті. На вперше побудованій геоморфологічній карті та поперечному профілі долини ріки Лукавець Великий виділено I та II надзаплавні тераси і переагліблену поховану долину. Указано положення викопної фауни мамонта та носорогів. Обґрунтовано перспективність знаходження нових забальзованих бітумами та сіллю великих тварин плейстоцену.

У пізньому пліоцені північно-східний макросхил Карпат був розчленований багатьма паралельними річковими долинами поперечного до головного карпатського напрямку структур і поздовжніх долин. Ріки зносили з гір великоуламковий матеріал, що формувало високі тераси та конуси виношення (внутрішню дельту) давньої долини Дністра. Остання утворилася біля підніжжя Карпат, у районі сучасного с. Лосєва, а Дністер потім поступово відступав на північний схід і за 30–40 км зайняв своє сучасне положення на довготі м. Галича. Великоглибовий його алювій сформував дві давні терасові рівнини – Красну і Лосєву. Клімат був субтропічний, типу нинішнього середземноморського, про що свідчить червоно-бурий колір глинистого цементу грубоуламкового алювію та покривні глини з активною міграцією заліза і марганцю.

У ранньому плейстоцені в широкій заболоченій долині р. Лукавець Великий спокійно меандрували звивисті русла останньої "дряхлої" стадії розвитку річкових долин. Накопичувались одноманітні темно-сірі до чорних болотні намули, глесві глини, біогенні намули з численними рештками рослин. Ландшафти – тундрові з карликовою берізкою, вільхою, верболозом та ін. Клімат – суворий, відповідає вюрмському (валдайському) зледенінню (59–13 тис. років тому). Можливо саме тоді й сталися у долинах території Старуні стада мамонтів і носорогів і жили мисливці на них – наші предки кроманьйонці.

Надзвичайно велике практичне значення Старуні полягає в тому, що подальше розширення досліджень і створення міжнародного еколого-туристичного центру – геопарку Льодовикового періоду – сприятиме значному поліпшенню соціально-економічного стану села Старуні, забезпечить населенню нові робочі місця та підніме туристичний рівень Івано-Франківщини. Автори мають надію, що унікальний феномен Старуні буде збережений для майбутніх поколінь.

Ключові слова: плейстоцен, фауна, заплава, надзаплавні тераси, геоморфологічні рівні, неотектоніка, розломи.

Постановка проблеми та актуальність теми. Усе-світньо відоме палеонтологічне місцезнаходження забальзованих трупів чотирьох волохатих носорогів і мамонта, знайдених серед плейстоценових відкладів у 1907 та 1929 рр. в озокеритових копальнях біля села Старуня Богородчанського району Івано-Франківської області, привернуло увагу вчених різних галузей, у тому числі геоморфологів, неотектоністів і палеогеографів. На основі досліджень авторів за даними дешифрування різновисотного аерофотознімання з використанням безпілотного літального апарату типу дрон уперше побудовано геоморфологічну карту з елементами неотектоніки, яка дозволила уточнити геологічну будову пам'ятки природи "Старуня", уперше закартувати дві надзаплавні тераси та переагліблену долину ріки Лукавець Великий, уточнити положення ділянки, де можливі нові палеонтологічні знахідки плейстоценових тварин. Визначення геологічного віку та палеогеоморфологічного положення знахідок у Старуні – це не тільки палеонтологічний феномен, це – палеокліматичний репер глобальних змін клімату, показник тундрових умов на Прикарпатті.

Ціль статті – визначити геоморфологічні, неотектонічні та палеогеографічні умови захоронення плейстоценових носорогів і мамонта з метою нових пошуків викопної фауни.

3 історії попередніх досліджень і публікацій. Початок геоморфологічних і неотектонічних досліджень Старуні належить до другої половини XIX ст., коли проводились регіональні роботи зі створення "Геологічного атласу Галичини" (Lomnicki A., 1905; Lomnicki M., 1908; Teisseyre, 1894; Romer, 1906) та ін. У міжвоєнні 20–30-ті рр. XX ст. розпочались пошуки нафти на Прикарпатті, які продовжувались після Другої світової війни. Тоді ж геоморфологічні та неотектонічні дослідження були серед

пріоритетних: з'явилися роботи (Цись, 1962; Гофштейн, 1962; Маринич, 1950; Веклич, 1982) та ін.

Безпосередньо на Старуні геоморфологію та неотектоніку вивчали Sokolowski, 2009 (рис. 1, 3) та Kotarba, 2005; Стельмах, 2005 (рис. 2). Із багатьох схем геоморфологічного районування, розроблених П.М. Цисєм, К.І. Геренчуком, В.Г. Бондарчуком, В.П. Палієнко та ін., найбільш детально є районування Передкарпаття (Кравчук, 1999).

За даними Я.С. Кравчука, на досліджуваній території поблизу Старуні виділяється кілька морфоструктур I порядку, зокрема Прикарпатська височина, яка поперечними дислокаціями поділяється на морфоструктури II порядку. Досліджуючи цю територію Цись (1952) назвав їх "аккумулятивними терасами і долинами Центрального Прикарпаття". За даними Кравчука (1999) це – "Пригорганське Прикарпаття". До морфоструктур III порядку віднесені широкі плоскі денудаційно-аккумулятивні поверхні вирівнювання (рівні Лоевої та Красної) (див. рис. 3), розділені молодими долинами та западинами – Бистрицька або Станіславська, Прилуквинська та Міжгірська височини. Остання – найбільш піднята і пов'язана з Майдан-Івано-Франківським підняттям палеозойського фундаменту. Не слід забувати, що рівні Красної (589 м над рівнем моря та 160–170 м відносної висоти) і Лоевої (відносна висота 140–150 м) були виділені ще Teisseyre (1894). Північніше Старуні (Lanczont and Bogutskiy, 2003) (табл. 1) виділили два рівні 150–170 м та 120–130 м і між Лоевою та Галицькою (V надзаплатною) терасою знайшли ще один рівень 60–70 м над долиною ріки Бистриця Солотвинська.

Отже, попередніми дослідниками були визначені основні аккумулятивні рівні терас, але невизначеним залишилось територіальне їхнє поширення та не було складено картографічної моделі геоморфології Старуні. Саме розв'язанню цієї проблеми присвячена стаття.

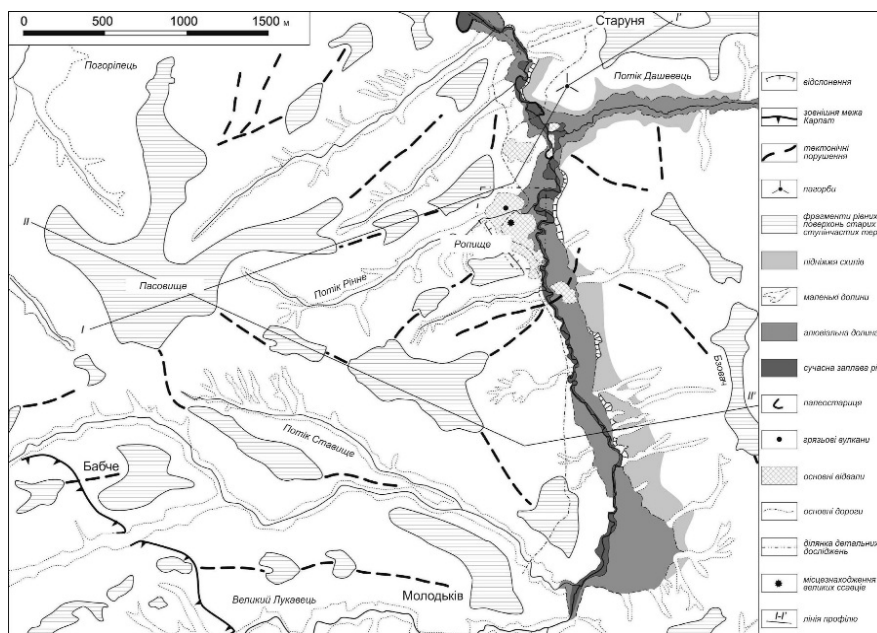


Рис. 1. Геоморфологічна схема долини річки Великий Лукавець поблизу Старуні (з використанням Sokolowski, 2009)



Рис. 2. Геоморфологічна схематична карта Старунського геодинамічного полігону (з використанням Kotarba, 2005; Стельмах, 2005)

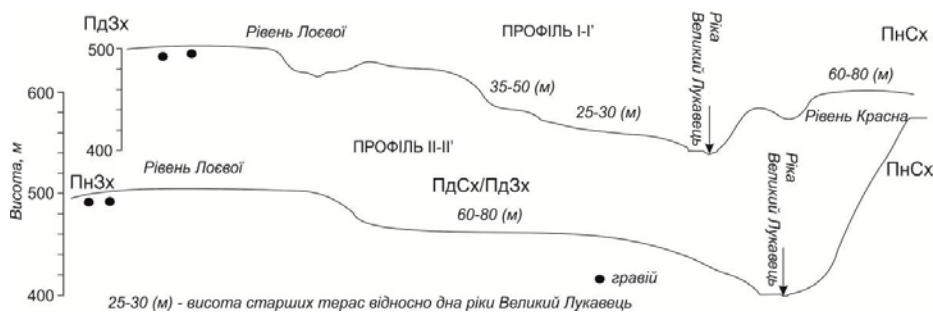


Рис. 3. Топографічні профілі через долину річки Великий Лукавець поблизу Старуні (з використанням Sokolowski, 2009)

Таблиця 1

Висоти та вік алювіальних терас (з використанням Lanczont and Bogutskyj, 2003)

Вік	Тераса	Верхній Дністер	Бистриця Солотвинська	Бистриця Надвірнянська	Великий Лукавець		
		Висота, м	Висота, м	Висота, м	Тераса заплава	Висота, м	Вік
Голоцен	I	1–2, 4–5	2.5–3.5	2.5–3	I	< 4,0	Неоголоцен
Неоплейстоцен	II	10–12	7–10	6–8	II	7–8	Пізній вейселеан
Неоплейстоцен	III	12–25	20–25	13–15	III	25–30	Мезоплейстоцен
Мезоплейстоцен	IV	30–40	40–45	28–35	IV	35–50	Мезоплейстоцен
Еоплейстоцен	V	70–90	60–70	50–60	V	60–80	Еоплейстоцен
Еоплейстоцен	VI			100–130	VI (ЛР)	90–110	Еоплейстоцен
Пізній пліоцен	VII (КР)	120–160			VII (КР)	160–170	Пізній пліоцен

ЛР – рівень Лойова, КР – рівень Красна

Виклад основного матеріалу. Геоморфологічна карта з елементами неотектоніки для території геологічної пам'ятки природи "Старуня" складена Т.В. Калиній та В.Г. Омельченком у 2018 році (рис. 4) на основі виконаного ними дешифрування результатів аерофотознімання дронем та аналізу результатів польових геоморфологічних досліджень і опублікованого геолого-геоморфологічного матеріалу. На карті виділено площі розповсюдження голоценових плоских, часто заболочених, поверхонь низької (0,2–0,7 м відносної висоти), середньої (1–1,7 м) та високої (2–5 м) заплавної терас.

Поверхня I надзаплавної тераси висотою 6–8 м пізньоплейстоценового (вюрмського) віку розташована на захід від р. Лукавець Великий. Її тиловий шов частково похований під техногенними відвалами озокеритових копалень (шахт). Під I терасою розташована переагліблена давня долина довюрмського (еемського) віку, за даними Stachowicz-Rybka et al., 2009; Sokolowski, 2009 (рис. 5).

II надзаплавна тераса р. Лукавець Великий висотою 10–12 м пізньоплейстоценового (довюрмського – післяеемського) віку розташована далі на захід від I тераси і частково перекрита техногенними відкладами, що утворились при розробці озокеритового родовища (див. рис. 4).

3-під техногенних уламкових відкладів, товщина яких від 0,5 до 10–12 м з характерною ямково-бугристою поверхнею, "пробився" єдиний у Карпатах грязьовий вулкан, що виник після землетрусу у березні 1977 р. у горах Вранча (Румунія). Від вулкана в бік потічка Рінне розповсюджуються сучасні грязьонамулові засолені відклади з новоутвореннями піриту, піротину, сфалериту та кристалів солей. По всій досліджуваній території розповсюджені джерела виходу на поверхню нафти і газу ("нафтові вулканчики") та солоної води з намулами.

Західніше тилового шва II тераси простежується ерозійний уступ від долини р. Лукавець Великий до схилу межирич. Останні – це ерозійно-денудаційні похилі поверхні терас від III до VII, перекриті зверху оолово-делювіальними покривними суглинками, супісками, лесами та глинами жовто-бурих кольорів з лінзами та включеннями пісків і щебеню середньо-пізньоплейстоценового віку.

Цікавими утвореннями є сучасні делювіально-пролювіальні грязьощебеністі потоки, іноді з нафтою, що розминають техногенні відвали шахт і формують широкі

плоскі русла. По всій території геологічної пам'ятки площею 60 га зустрічаються зсуви, карст, суфозія, конуси винесення, ерозійні уступи берегів річки і потічка. Окремими знаками на геоморфологічній карті з елементами неотектоніки позначені різні розломи – фронтальні насуви на межах скиб-лусок, глибинні розломи, що встановлені за різкими градієнтами гравітаційного поля в редукції Буге та неотектонічні розломи, що використовуються гідромережею.

Показані також техногенні джерела впливу на довкілля – продуктопровід Жулин – Надвірна, нафтогазопошукові свердловини та залишки їхніх бетонних фундаментів.

Особлива увага приділена геоморфологічному положенню копальні (шахти) № 4 ("Мамонтової"), де були знайдені забальзовані (муміфіковані) бітумами і сіллю плейстоценові (42–11 тис. років тому за C_{14}) туші чотирьох волохатих носорогів і одного мамонта. Уточнено також місцезоположення ділянки, де можливо після проведення досліджень, знайти забальзовані туші давніх ссавців.

Отже, за результатами геоморфологічного аналізу території Старуні та її околиць можна констатувати таке. Долина р. Лукавець Великий належить до Міжбистрицької височини, що поділяється (згідно із Sokolowski, 2009) на морфоструктури IV та V порядків. На схід від Прилукивської височини розташована Станіславська або Бистрицька западина, заповнена алювієм трьох терас обох Бистриць – Солотвинської та Надвірнянської. Сучасна долина р. Лукавець Великий простежується з верхівів спочатку на схід, розпочинаючись на горі Бовач (579 м над р. м.). Потім на меридіані с. Молодьків ріка повертає, використовуючи зону міжскибового насуву, на північ. Долину оточують хребти ділянок (512 м над р. м.), Дашевець-Штім і Погорілецький (483 м над р. м.), Пасовайський (512 м над р. м.) і пагорби. У районі Старуні долина асиметрична з високим правим і низьким, пологим лівим бортом. Похила поверхня г. Бовач (див. рис. 1, 3) віднесена (Teisseyre, 1932–1933) до рівня Красної, а протилежний схил – до розмитих ерозійно-денудаційних рівнів Лоевої. Вони не є терасами р. Лукавець Великий, а утворились як ерозійно-структурні "сходишки" від Лоевої до сучасних II та I терас.

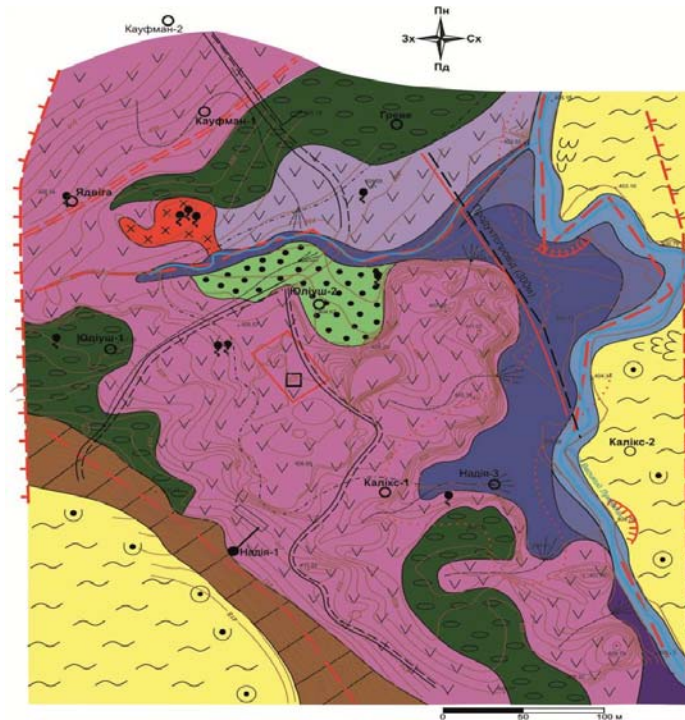


Рис. 4. Геоморфологічна карта з елементами неотектоніки Старунського палеонтологічного місцезнаходження. Автори: Т.В. Калиній, В.Г. Омельченко, 2018

Умовні позначення до Геоморфологічної карти
з елементами неотектоніки

- Плоскі, часто заболочені поверхні низької (3), середньої (2) та великої (1) голоценових заплавних терас р. Лукавець Великий та потічка Рінне з відносними висотами відповідно 0,2-0,7 м;
- Поверхня пізньоплейстоценової (вюрмської) I надзаплавної тераси відносної висоти 6-8 м.
- Поверхня пізньоплейстоценової (довюрмської) II надзаплавної тераси відносної висоти 10-12 м.
- Похований під техногенними відвалами тиловий шов I надзаплавної тераси
- Ямково-бугриста поверхня техногенних відвалів із озокеритових копалень (шахт)
- Сучасні делювіально-пролювіальні солені грязе-щебнисті потоки, іноді з нафтою, що розмивають техногенні відвали
- Грязевий вулкани
- Грязеві потоки Старунського вулкану з піритом, піритином, сфалеритом, солями
- Ерозійний уступ межиріч до долини р. Лукавець Великий з делювіальними схилливими суглинками
- Похована перезаглиблена давня долина довюрмського (еємського) віку
- Похила ерозійно-денудаційна поверхня межиріч з покривом середньо-пізньоплейстоценових лесоподібних відкладів з лінзами щебеню та піску
- Неотектонічні розломи за геоморфологічними даними
- Глибинні розломи - різкі градієнти гравітаційного поля в редукції Буге
- Фронтальні розломи на межах насувних скиб-лусок
- Зсуви
- Карст
- Суфозія
- Бокова ерозія берегів рік
- Конуси винесення
- Джерела виходу на поверхню нафти і газу
- Нафтогазополушкові свердловини
- Продуктопровід Жулин-Надвірна
- Залишки бетонних фундаментів старих пошуково-розвідувальних свердловин
- Старунське палеонтологічне місцезнаходження забальзамованих (муміфікованих) бітумами і сіллю плейстоценових (42-11 тис. р. т. за C_{14}) волохатих носорогів і мамонта - озокеритова шахта № 4 («Мамонтова»)
- Перспективна, за даними мікрогравітаційних, ізотопно-геохімічних, мікробіологічних, малакофауністичних, палеокарпологічних, спорово-пилкових досліджень та електрондування, ділянка (25x35 м.) для нових знахідок фауни крупних ссавців.

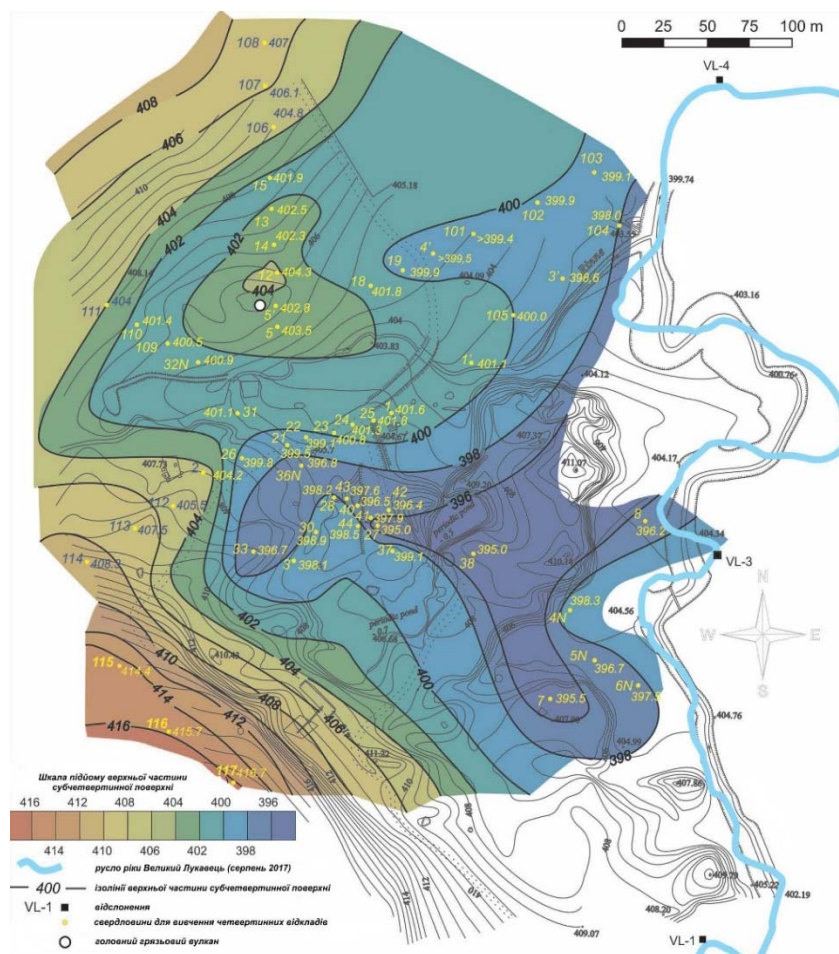


Рис. 5. Похований рельєф підосви четвертинних відкладів перезаглибленої долини (з використанням *Stachowicz-Rybka et al., 2009; Sokolowski, 2009*)

Долина має ширину до 600 м у районі с. Молодьків, потім звужується до 200 і до 100 м. Спостерігається два рівня надзаплавних і три рівня заплави (див. рис. 4). На картах XIX ст. ріка меандрувала більш активно, а пізніше почала врізатись у свої меандри. Сільськогосподарське освоєння території розпочалось у XIV–XVI ст. Значні площі лісів були вирубані, що призвело до змін у режимі річкової діяльності.

Активно розвиваються морфоструктурні форми, що свідчить про підсилення екзогеодинамічних процесів: зсуви, яри, осипища, площинна ерозія ґрунтів, бокова та глибинна ерозія річкової мережі, розмив і перевідкладення гірничих відвалів, заболочування. Під час останнього паводка 2008 р. відбулись активні переміщення русла до 8 м, а нижче впадіння потічка Рінне – до 20 м. На протилежному березі виник зсув. Зросло поглиблення русла, про що свідчить факт залягання стовбура вільхи білої, що лежав, за даними палеоендрохронологічних досліджень (*Alexandrowicz, 2004*) у 1998 р. у руслі, а нині лежить на 50–60 см над ним. Нижче урочища Ропище на низькій заплаві утворились тричіни відриву та конуси винесення зі стовбурами дерев. Отже, геоморфологічні дослідження свідчать про активну геоекзодинаміку, що слід урахувати при уточненні місця знаходження нових викопних ссавців.

Неотектонічні особливості території Старуні обумовлені скибовою (насувною) структурою міоценового субстрату Старунської складки, обмеженої двома насувами (див. рис. 4). Досліджувана територія апікальної зони складки віднесена авторами до Гвіздецько-Дзвиняцької прямої неотектонічної структури, що успадкувала

Старунську складку. Вона ускладнена локальними розломами різної орієнтації, що використовуються руслом р. Лукавець Великий. Вони мають міоценовий вік, але активізовані у кварталі, набувши більш вертикальної орієнтації, та обумовили виникнення уступу в рельєфі на захід від свердловини Надія-1 (див. рис. 4). Інша активна неотектонічна зона розломів є ортогональною, перпендикулярною до першої. До одного з таких розломів приурочена долина потічка Рінне, інші впливають на мандрування русла р. Лукавець Великий.

Палеогеографічні реконструкції свідчать, що сучасний рельєф геологічної пам'ятки природи "Старуня" почав формуватись, як і рельєф усього Передкарпаття, у міоцені, коли острівна дуга Карпат піднялась з океану Тетис. У пізньому пліоцені північно-східний макросхил Карпат був розчленований багатьма паралельними річковими долинами поперечної до головного карпатського напрямку структур і поздовжніх долин. Ріки зносили з гір великоуламковий матеріал, що формував високі тераси та конуси винесення (внутрішню дельту) давньої долини Дністра. Остання утворилась біля підніжжя Карпат, у районі сучасного с. Лоева, а Дністер потім поступово відступав на північний схід і за 30–40 км зайняв своє сучасне положення на довготі м. Галича. Великоглибовий його алювій сформував дві давні терасові рівнини – Красну і Лоеву. Клімат був субтропічний, типу нинішнього середземноморського, про що свідчить червоно-бурий колір глинистого цементу грубоуламкового алювію та покривні глини з активною міграцією заліза і марганцю.

У ранньому плейстоцені (еоплейстоцені) (V – галицька тераса) Дністер та його притоки поступово відступали від зростаючих гір. У підняття були втягнуті також

рівні Красної та Лоевої. У середньому плейстоцені (IV – маріямпільська тераса) та в першій половині пізнього плейстоцену (III – єзупільська тераса) підняття Передкарпаття, у тому числі й території Старуні, продовжувались. II – колодівська тераса є і в долині р. Лукавець Великий. На початку пізнього плейстоцену, в єємське міжльодовиків'я, відбулось перезаглиблення його долини (на 10–15 м глибше сучасного рівня русла). Похована нині перезаглиблена долина заповнювалась гальковиками, пісками та намулами. Так продовжувалось і в ранньому вейчселіані (брюруп, оддероде) та в середньому-пізньому пленигліаціалі (шалкгольц, оерел, гінге), який відповідає початку валдайського похолодання. Алювій II тераси р. Лукавець Великий містить, за даними *Stachowicz-Rybka, 2009*, споро-пилкові комплекси степових асоціацій межиріччя і хвойно-листяних лісів у долинах. З другої половини середнього пленигліаціалу (моєршофт, хенгело, денекам) почалось валдайське похолодання, а потім і зледеніння. У широкий заболочений долині р. Лукавець Великий спокійно меандрували звивисті русла останньої "дряхлої" стадії розвитку річкових долин. Накопичувались одноманітні темні-сірі до чорних болотні намули, глеєві глини, біогенні намули з численними рештками рослин. Ландшафти – тундрові з карликовою берізкою, вільхою, верболозом та ін. Клімат – суворий, відповідає вюрмському (валдайському) зледенінню (59–13 тис. років тому). Максимум припадає на 18–16 тис. років тому. Можливо саме тоді й наспіли в долинах території Старуні стада мамонтів і носорогів і жили мисливці на них – наші предки кроманьйонці (*Alexandrowicz, 2004; Kotarba, 2005; Stachowicz-Rybka et al., 2009*).

I надзаплавна тераса р. Лукавець Великий формувалась із пізнього пленигліаціалу (бьоллінг, аллерьод), коли долина омолодилась, з'явилися знову чіткі руслові фації, тундрові умови змінилися помірними лісостеповими, і так продовжувалось від 13 до 10,2 тис. років тому. Деякі дослідники (*Sokolowski, 2009* та *Stachowicz-Rybka et al., 2009*) пишуть, що в долині замість боліт з'являлись озера, часто засолонені, пов'язані з термокарстовими явищами. У долині потічка Рінне також відкладались біогенні намули, торф'яні гряди. Часто відбувались зсуви на соліфлюкційних берегових схилах.

На межі пізнього вейчселіану (кінець вюрмської – валдайської льодовикової епохи) та голоцену відбулось розчленування рельєфу, але р. Лукавець Великий мала нижчу енергію, ніж за сучасної епохи. Неотектонічні рухи та зміни клімату в голоцені призвели до формування трьох рівнів заплави: високої – еоголоцен, середньої – мезоголоцен і низької – латеголоцен. Низькоенергетичний режим русла річки продовжувався до середньовіччя, тобто до V–VII ст. нашої ери. У VII–IX ст. відбулось різке (до 2 м) поглиблення долини ріки з активізацією небезпечних екзогеодинамічних процесів. Русловий алювій змінився від дрібно- до крупнозернистого (*Alexandrowicz, 2004; Kotarba, 2005; Lanczont et al., 2003*).

Наступний поворотний момент в історії долини відбувся в XIV ст. і тривав до середини 1960-х рр., коли урочище Ропище стало центром видобутку спочатку солі, а потім озокериту і нафти. У долині накопичувались великі маси гірничих відвалів, які повністю змінили природний рельєф. Терасові рівні, крім заплавних, були поховані під техногенними відкладами. Кам'яний матеріал у поєднанні з фрагментами цегли, скла, металів і деревини стали компонентами сучасного алювію. Після припинення гірничодобувних робіт у 50–60-ті роки XX ст. постачання осадового матеріалу антропогенного

походження в алювій припинилось. Тоді ж заплава піднялась приблизно на 1 м над руслом.

Висновки

1. Уперше для території Старунського палеонтологічного місцезнаходження авторами складена геоморфологічна карта з елементами неотектоніки, яка розшифровує геоморфологічну будову долини р. Лукавець Великий з виділенням перезаглибленої похованої давньої долини, двох надзаплавних терас і трьох рівнів заплави.

2. Уточнено положення в розрізі II тераси – місцезнаходження болотних намулів з бітумом і сіллю, які сприяли муміфікації знайдених тут трьох викопних волохатих носорогів і мамонта.

3. Підтверджено перспективність ділянки для пошуків нових палеонтологічних знахідок, яка була виділена спільними польсько-українськими експедиціями 2004–2009 рр. на основі гравіметричних, електророздувальних, ізотопно-геохімічних, мікробіологічних, палеокарпологиічних, палінологічних, мікрогравіметричних досліджень. Це демонструє велике наукове значення геологічної пам'ятки природи "Старуня", яка заслуговує на підвищення її природно-заповідної категорії до міжнародного геопарку.

4. Практичне значення вивчення Старуні полягає в тому, що подальше розширення досліджень і створення міжнародного еколого-туристичного центру – геопарку Льодовикового періоду зможе значно поліпшити соціально-економічний стан села Старуні, забезпечить населенню нові робочі місця та підніме туристичний рівень Івано-Франківщини. Автори мають надію, що унікальний феномен Старуні буде збережений для майбутніх поколінь.

Список використаних джерел

- Веклич, М. Ф. (1982). Палеозатність і стратотипи почвенних формацій верхнього кайнозоя. Київ: Наукова думка.
- Гофштейн, І. Д. (1962). Неотектоніка і морфогенез верхнього Придністров'я. Київ: Видавництво АН УРСР.
- Кравчук, Я. С. (1999). Геоморфологія Передкарпаття. Львів: Меркатор.
- Маринич, О. М. (1950). Про походження врізаних меандрів р. Дністра. *Наукові записки Київського університету*, 4(9), 19–24.
- Цись, П. М. (1962). Геоморфологія УРСР. Львів: Видавництво Львівського університету.
- Alexandrowicz, S. W. (2004). Starunia I badania czwartorzędowe w tradycji i inicjatywach Polskiej Akademii Umiejętności. Kraków.
- Czyżewski, J. (1928). Z historii doliny Dniestru. Lwow-Warszawa: 10, 33–62.
- Kotarba, M. J. (2005). Interdisciplinary Polish and Ukrainian studies on the Starunia extinct fauna site in the years 2004–2005. In Kotarba, M. J. (Eds.), Polish and Ukrainian geological studies (2004–2005) at Starunia - the area of discoveries of woolly rhinoceroses. Polish Geological Institute and Society of Research on Environmental Changes "Geosphere". Warszawa-Krakow, 9–20.
- Lanczont, M. et al. (2003). Eopleistocene and Lower Mesopleistocene paleosols in the Zahvizdja profile in the East Carpathian Foreland (W. Ukraine). *Quaternary International*, 119–130.
- Lomnicki, A. (1905). Atlas Geologiczny Galicyi.
- Lomnicki, M. (1908). Discovery of mammoth (*Elephas primigenius* Blumb.) and diluvial rhinoceros (*Rhinoceros antiquitatis* Blumb.) w Staruni (pow. Bohorodczanski). *Kosmos*, 33, 63–70.
- Romer, E. (1906). Kilka przyczynkow do historii doliny Dniestru. *Kosmos*, XXXI, 363–386.
- Sokolowski, T. (2009). Development of relief of the Velyky Lukavets River valley near Starunia palaeontological site (Carpathian region, Ukraine). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 79, 243–254.
- Stachowicz-Rybka R. et al. (2009). Plant macrofossils and malacocoenoses of Quaternary mineral-organic sediments at Starunia palaeontological site and vicinity (Carpathian region, Ukraine). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 79, 297–313.
- Stelmakh, O. R. (2005). Geomorphological and neotectonic features of the Starunia geodynamic test area. Polish and Ukrainian geological studies (2004–2005) at Starunia - the area of discoveries of woolly rhinoceroses. Warszawa-Krakow, 87–93.
- Teisseyre, H. (1932–1933). Problemy morfologiczne wschodniego Podkarpacjaisseyre. Spr. Polsk. Inst. Geol. Warszawa, VII, 421–464.
- Teisseyre, W. (1894). Paleomorfologia podola (wiadomosc tymczasowa). Spraw. Komis. fizyograf. Krakow, 186–191.

References

- Alexandrowicz, S.W. (2004). Starunia I badania czwartorzędowe w tradycji i inicjatywach Polskiej Akademii Umiejętności. Krakow, 261. [In Poland]
- Czyżewski, J. (1928). Z historii doliny Dniestru. Lwow-Warszawa, 10. 33–62. [In Poland]

Gofshtein, I.D. (1962). Neotektonika i morfohenez verkhnoho Prydnistrovya. Kyiv: Vydavnytstvo AN URSR. [In Ukrainian]

Kotarba, M.J. (2005). Interdisciplinary Polish and Ukrainian studies on the Starunia extinct fauna site in the years 2004–2005. In Kotarba, M. J. (Eds.), Polish and Ukrainian geological studies (2004–2005) at Starunia – the area of discoveries of woolly rhinoceroses. Polish Geological Institute and Society of Research on Environmental Changes "Geosphere". Warszawa-Krakow, 9–20.

Kravchuk, Ia. S. (1999). Heomorfologia Peredkarpattia. Lviv: Merkator. [In Ukrainian]

Lanczont, M. et al. (2003). Eopleistocene and Lower Mesopleistocene paleosols in the Zahvizdja profile in the East Carpathian Foreland (W. Ukraine). *Quaternary International*, 119–130.

Lomnicki, A. (1905). Atlas Geologiczny Galicyi. [In Poland]

Lomnicki, M. (1908). Discovery of mammoth (*Elephas primigenius* Blumb.) and diluvial rhinoceros (*Rhinoceros antiquitatis* Blumb.) w Staruni (pow. Bohorodczanski). *Kosmos*, 33, 63–70.

Marynych, O.M. (1950). Pro pokhodzhennia vrizanykh meandriv r. Dnister. *Naukovi zapysky Kyivskoho universytetu*, 4(9), 19–24. [In Ukrainian]

Romer, E. (1906). Kilka przyczynkow do historii doliny Dniestru. *Kosmos*, XXXI, 363–386. [In Poland]

Sokolowski, T. (2009). Development of relief of the Velyky Lukavets River valley near Starunia palaeontological site (Carpathian region, Ukraine). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 79, 243–254.

Stachowicz-Rybka R. et al. (2009). Plant macrofossils and malacocoenoses of Quaternary mineral-organic sediments at Starunia palaeontological site and vicinity (Carpathian region, Ukraine). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 79, 297–313.

Stelmakh, O.R. (2005). Geomorphological and neotectonic features of the Starunia geodynamic test area. Polish and Ukrainian geological studies (2004–2005) at Starunia – the area of discoveries of woolly rhinoceroses. Warszawa-Krakow, 87–93.

Teisseyre, H. (1932–1933). Problemy morfologizne wschodniego Podkarpacia. Spr. Polsk. Inst. Geol. Warszawa, VII, 421–464. [In Poland]

Teisseyre, W. (1894). Paleomorfologia podola (wiadomosc tymczasowa). Spraw. Komis. fizyograf. Krakow, 186–191. [In Poland]

Tsys P. M. (1962). Heomorfologia URSR. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoho universytetu. [In Ukrainian]

Veklych, M.F. (1985). Paleoeetapnost i stratotypy pochvennykh formay verkhnieho kainozoia. Kyiv: Naukova dumka. [In Russian]

Надійшла до редколегії 04.03.19

T. Kalynii, Assist. Prof.
V. Omelchenko, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof., E-mail: ovgeo@ukr.net
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

GEOMORPHOLOGY, NEOTECTONICS AND PALEOGEOGRAPHY OF THE NATURAL GEOLOGICAL MONUMENTS ON "STARUNIA" TERRITORY

A survey of geomorphological and neotectonic features around "The Starunia paleontological site" allows to produce a complete description of paleogeographic conditions and geological age of the Pleistocene mammals. The floodplain terraces I and II and a redevelopment valley have been distinguished on the geomorphological map and a sketch of cross-section of the Velyky Lukavets River valley. The location of fossil fauna (mammoth and rhinoceroses) has been indicated. The prospect of finding new extinct Pleistocene mammals preserved in bitumen and salt has been substantiated.

In the late Pliocene, the northeast macro-slope of the Carpathians was dissected by many parallel river valleys transverse to the main Carpathian direction of structures and longitudinal valleys. The rivers took down coarse-grained material from the mountains that formed the high terraces and debris cones (inland delta) of the ancient Dniester valley. The latter was formed at the foot of the Carpathians, in the area of the modern village of Loyeva and the Dniester, then gradually retreated 30–40 km to the northeast and took its present location on the longitude of the town of Halych. Its block mass alluvium formed two ancient terrace plains – Krasna and Loyeva. The climate was subtropical, the type of the present Mediterranean, as evidenced by the red-brown color of the clayey cement of coarse-grained alluvium and cover clays with active migration of iron and manganese.

In the early Pleistocene, in the wide swampy valley of the river Lukavets Velykyi, the winding beds of the last stage of river valleys development were quietly meandered. Monotonous dark gray to black marsh accumulations, silt clays, biogenic silts with numerous plant remains accumulated. Landscapes – tundra with dwarf birch, alder, willow etc. The climate was severe, consistent with Wurm (Valdai) glaciation (59–13 thousand years ago). Perhaps just then herds of mammoths and rhinos grazed in the valleys of the Starunia territory and our ancestors Cro-Magnons lived here.

The extremely important practical value of Starunia is that further expansion of research and creation of an international ecological-tourist center – the Geopark of the Ice Age will significantly improve the socio-economic status of the village of Starunia, provide the population with new jobs and raise the level of tourism in the Ivano-Frankivsk region. The authors hope that the unique phenomenon of Starunia will be preserved for future generations.

Keywords: Pleistocene, fauna, flood plain, floodplain terraces, geomorphological levels, neotectonics, faults.

T. Калыний, асист.,
В. Омельченко, канд. геол. наук, доц., E-mail: ovgeo@ukr.net
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ул. Карпатська, 15, г. Івано-Франківськ, 76019, Україна

ГЕОМОРФОЛОГІЯ, НЕОТЕКТОНІКА І ПАЛЕОГЕОГРАФІЯ ТЕРИТОРІЇ ГЕОЛОГІЧЕСЬКОГО ПАМ'ЯТНИКА "СТАРУНЯ"

Исследование геоморфологических и неотектонических особенностей геологического памятника "Старуня" позволяет реконструировать палеогеографические условия и геологический возраст находок плейстоценовой фауны мохнатых шерстистых носорогов и мамонта во всемирноизвестном их палеонтологическом местонахождении вблизи села Старуня на Прикарпатье. На первой построенной геоморфологической карте и поперечном профиле долины реки Лукавец Большой выделено I и II надпойменные террасы и переуглублённую погребённую долину. Указано положение ископаемой фауны мамонта и носорогов. Обоснована перспективность нахождения новых забальзамированных битумами и солью крупных животных плейстоцена.

В позднем плиоцене северо-восточный макросклон Карпат был расчленен многими параллельными речными долинами поперечных к главному карпатскому направлению структур и продольных долин. Реки сносили с гор крупнообломочный материал, который формировал высокие террасы и конусы выноса (внутреннюю дельту) древней долины Днестра. Последняя образовалась у подножия Карпат, в районе современного с. Лоевая, а Днестр затем постепенно отступал на северо-восток и за 30–40 км занял свое современное положение на долготе г. Галич. Крупноглыбовый его аллювий сформировал две древние террасные равнины – Красную и Лоевую. Климат был субтропический, типа нынешнего средиземноморского, о чем свидетельствует красно-бурый цвет глинистого цемента грубообломочного аллювия и покровные глины с активной миграцией железа и марганца.

В раннем плейстоцене в широкой заболоченной долине р. Лукавец Большой спокойно меандровали извилистые русла последней "дряхлой" стадии развития речных долин. Накапливались одинаковые темно-серые до черных болотные илы, глеевые глины, биогенные илы с многочисленными остатками растений. Ландшафты – тундровые с карликовой березкой, ольхой, ивняком и др. Климат – суровый, соответствует вюрмскому (Валдайскому) облещению (59–13 тыс. лет назад). Возможно как раз тогда и паслись в долинах территории Старуни стада мамонтов и носорогов и жили охотники на них – наши предки кроманьонцы.

Большое практическое значение Старуни заключается в том, что дальнейшее расширение исследований и создания международного эколого-туристического центра – геопарк Ледникового периода – будет способствовать значительному улучшению социально-экономического положения села Старуня, обеспечит населению новые рабочие места и поднимет туристический уровень Ивано-Франковской области. Авторы надеются, что уникальный феномен Старуни будет сохранен для будущих поколений.

Ключевые слова: плейстоцен, фауна, пойма, надпойменные террасы, геоморфологические уровни, неотектоника, разломы.

ГЕОФІЗИКА

UDC 550.834

H. Guliyev¹, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Academician of ANAS
Head of department "Tectonophysics and Geomechanics"
E-mail: hatamguliyev@gmail.com, tel.: +994 12 5105617;

Kh. Aghayev¹, PhD (Geol.-Min.)
Leading Researcher of department "Tectonophysics and Geomechanics"
E-mail: khagayev@yahoo.com, tel.: +994 12 5105617;

F. Mehraliyev², Director GeoGlobe Ltd
E-mail: fuadmehrali@yahoo.com, tel.: +994 12 4977421;

E. Ahmadova¹, Junior Researcher,
department "Tectonophysics and Geomechanics",
E-mail: ella_ezizova@mail.ru, tel.: +994 12 5105617

¹Institute of Geology and Geophysics of ANAS
119 H. Javid Ave., Baku, AZ1143, Azerbaijan

²GeoGlobe Ltd, 9 M. Muhktarov Str., ap. 5, Baku, AZ1001, Azerbaijan

DETERMINATION OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF COMPLEXLY CONSTRUCTED MEDIA USING NEAR-SURFACE CROSSWELL METHOD

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

In case when the upper part of the medium has complex geological structure and geodynamic processes occur in it, the necessity of these data increases in projecting of the object under construction.

Purpose. Studying of acoustic, elastic and anisotropic properties of the upper part of section of complicatedly constructed geological media.

Methodology. Seismic observations are conducted in shallow wells in the areas of construction objects located in various seismogeological conditions by NSCW (Near-Surface Cross Well testing) method. Field seismic records are processed. Kinematic and dynamic parameters of pressure and differently polarized shear waves are determined. Thin-layered one-dimensional models of physical properties of the medium are created and interpreted on the basis of nonlinear theory of elastodynamics.

Results. It is determined that the medium with high porous, water saturated rocks and anomalous high reservoir pressure has anomalous low value of velocities and gradient of their increase with depth. When this medium was re-examined after deep piles were built there, the overestimated seismic velocities are obtained, which is explained by a decrease in the section of anomalously high reservoir pressure and, accordingly, the porosity of the rocks after piles were built. When the hollowness is increased in unsaturated pebble rocks, the negative value of Poisson's ratio is obtained on the standard method. Seismic anisotropy related with the direction of the grains packing of the rocks is revealed on velocities of shear waves. The change of property of rocks on depth is manifested clearer on frequencies of waves than on their amplitudes.

Scientific novelty. The elasticity moduli of the 3rd order are determined which are more sensible to variability of nonlinear elastic properties of rocks of the medium than the moduli of the 2nd order. The values of Poisson's ratio are recalculated for one and the same rocks located in different conditions of rock pressure on the basis of nonclassical theory of deformation.

Practical importance. The obtained results can be applied to study the media characterized by complex seismogeological hydrodynamic conditions with clay-sandy rocks of high porosity and water saturation.

Keywords: near-surface cross well, pressure, shear wave, seismic velocity, elastic modulus, anisotropy, saturation, absorption.

Introduction. The earthquakes, landslides, mud volcanoes eruptions are the natural phenomena frequently occurring in Azerbaijan. Here the upper part of the geological section consists of the Quaternary sediments. Here the rocks are mainly clayey, but besides them there are separate beds of sands and shells. The rocks are highly-porous and water-saturated. In some places the sand beds have the abnormal pressure. The groundwater level at the sea coast starts from 2–5 m. The slopes of strata are nearly horizontal. When designing the site of the constructing object with such complex properties, it is necessary to provide its safety from the expected technogenic and natural phenomena. That is why the geological, geotechnical and engineering-geophysical investigations are carried out before the object design in-situ with purpose to get the information regarding the physical-mechanical properties of the upper part of the geological section. Depending upon the solved task the following methods are mainly used in engineering-seismic investigations:

- the thick-layer model of the environment is defined by velocity of pressure (V_p) or shear (V_s) seismic waves using therefractionmethod (RM) on the Earth surface by refraction wave travel time curve (Burger, 1992; Burger et al., 2006);
- the thin-layer models of the upper part of the environment are defined by V_s using the spectral analysis of surface waves (SASW) method (Antipov and Ofrikhter, 2016; Tokeshi et al., 2013) and the multichannel analysis of the surface waves (MASW) (Antipov and Ofrikhter, 2016;

Choon et al., 2007; Tokeshi et al., 2013; Yasnickij et al., 2012) method;

- the method of micro seismic logging (MSL) of the shallow well allows defining the one-dimensional models by V_p and V_s (Crice, 2011);

- the NSCW method, applied in the present investigation, is intended to study cross-borehole space (Aghayev et al., 2012; Moret et al., 2006; Park et al., 2008; Pratt et al., 2008; Taeseo and Paul, 2013; Wadhwa et al., 2005; Yasnickij et al., 2012). In this method the observations are carried out in two shallow wells located nearby. In the first well the waves are excited at one depth, but in the second well the waves are recorded consistently at all depths. Then the waves are excited in the first well at the next depth, and they are all recorded at all depths in the second well (tomographic system of observation). The waves recording is performed by the multicomponent seismic receivers.

The MASW, SASW and NSCW methods are mainly applied to study the geological environment of the construction project areas. MSL and RM methods are also widely applied mainly in the seismic survey to define the static corrections. Among these methods the NSCW allows acquiring more detail, precise and comprehensive information regarding the physical properties of the geological environment via P and S waves.

Often the simplified version of the field observations is applied when performing the NSCW actions: only one

excitement and one record of the waves is carried out at every depth (Aghayev et al., 2012). As a result of the field seismic record processing, the thin-layer one-dimensional models of the environment are defined by V_p , V_s , as well as the Poisson's coefficient (ν) and Young's modulus (E). But the necessity arises to define other moduli of elasticity, anisotropy and absorption by the complex environments (Bezrodna et al., 2016; Suroso et al., 2017; Thomsen, 2002; Aleksandrov and Prodajvoda, 2000).

The results of studies of the non-linear physical-mechanical properties of some sedimentary rocks shows that the elasticity moduli of the third order are manifold sensitive to the variability of the environment's elastic properties than the moduli of the second order (Bezrodna et al., 2016; Guliyev et al., 2016; Aleksandrov et al., 2001; Vyzhva et al., 2005; Kuliev, 2000). The above mentioned modulus had been used in the present research.

Numerous studies have been carried out to study the anisotropy of the propagation velocity of seismic waves in sedimentary rocks (Suroso et al., 2017; Thomsen, 2002; Aleksandrov and Prodajvoda, 2000; Dugarov et al., 2011). The anisotropy is more brightly manifested in the difference of velocities of differently polarized SH and SV shear waves (Puzyrev et al., 1985). The seismic wave's absorption is the important property of the environment; it is defined by the amplitudes change of harmonic components of the seismic signal (Boganik and Gurvich, 2006).

Objects of research. The article examines the study of geological environments of three sections of building objects using the NSCW method.

The first object (Object_1) locates onshore, 250 m from the Caspian Sea coast, on the flat terrain, 2,3 m over the sea level. Here the groundwater level approximately starts from 2–3 m. The Lower Quaternary sediments lay in the studied interval ((1–28 m) of the geological section. The lithological section consists of the alternation of thin layers of clays and sands. From top and to 30 m deep the clays are characterized as very soft, soft, firm, hard and very hard. The clays are with inclusions of organic matter. Starting from 0.5 m to the groundwater level the water saturation of clays' pores is 16,3–17,4 %. The rocks density starts from 1.86 g/sm³ and increases to 2,07 g/sm³.

The second object (object_2) locates onshore, 200 m from the Caspian Sea coastline, at 2,0 m above the sea level. According to samples from wells, here the geological section mainly consists of flat-dipping thin layers of clays, sands and sandstones rocks of the Lower Quaternary sediments. With increasing depth, the clayey rocks and the number of clean clay layers increase. In comparison with object_1, the younger, porous, soft and water-saturated rocks occur here. The present rocks are water-saturated because the site locates at the sea shore. The beds of water-saturated sands, consisting of two layers with abnormal pressure, occur at the depths of approximately 25–50 m. Here the average value of rocks' density is 1,99 g/sm³. At the site of the object, NSCW was observed at depths of 1–83 m. Two years after the numerous large holes were drilled in the direct close from that area and the deep concrete piles were constructed in that holes. After these actions the repeated observations by NSCW were carried out with purpose to control the environment change in this area.

The third object (object_3) locates far from the seashore. The rocks of the studied environment mainly consist of pebble soils with sandy loam and sandy fillers. The pebbles are large in size. The space between the rocks particles is empty enough. In object the groundwater level starts approximately from 16 m. Up to this depth the particles of

young and non-cemented rocks have the good contact. After the depth of 16 m the rocks' water saturation is approximately 15 %. Here the average value of the rocks density is 2,20 g/sm³. Here observations by NSCW were carried out at a depth interval of 1–20 m.

Method of study. Acquisition method. The seismic observations were carried out by NSCW method (Aghayev et al., 2012; Park et al., 2008; Dejnego et al., 2017; Oshkin et al., 2016) with application of "Geotomographie" devices (www.crosswellinstruments.de). At the same time two wells with equal depths in some tens meters were used. A plastic pipe was put down into every well, and the annular space was filled with cement grout. The pipe position along every well bore was determined by inclinometer. The distance between the wells was 8–10 m. In accordance with observation system the source shot-point was lowered down into the first well, but the seismic waves' receiver – into the second well.

In the first well, the P wave, SH and SV types of S waves were simultaneously excited. In the second well they were received by three-component XYZ seismic receivers. In the course of study, not tomographic (Wadhwa et al., 2005) but simple system of observations was used located at the same depth with excitation source and receiver (Aghayev et al., 2012). The devices in well were directed according to compass reading. In the receiving well the Y component was directed towards the well of waves' exciting. Observation at each depth was repeated 10 times and the records were summarized. In each depth, the waves were excited separately by strikes in the right and left directions. The mentioned process was repeated after raising of the excitation source equipment for 1 m. At the strokes to the left and right directions the first P wave is got with similar polarity, but S wave – with direct and reverse polarity (Crice, 2011; Park et al., 2008). Such observation allows choosing between P and S waves because the polarity of S wave differs from the noise.

The duration of seismic record is 64 msec, but the discretization – 0,021 msec.

Processing of seismic data. Field seismic records were processed by "GEOPRESS" (Guliyev et al., 2010) software package. As a result of test the graph and optimal values of processing parameters were selected. The main procedures of processing graph (Aghayev, 2012; Ghelagni and Santamarina, 1998; Dejnego et al., 2017) are the following:

1. bringing of seismic records to processing format;
2. calculation coordinate of each observation points in well;
3. visualizing and editing of seismic records;
4. summarizing of seismic records on right and left directions to select P and S waves and subtracting from each other;
5. calculation of complete vector records from XY component records;
6. definition of frequency spectrum and the leading frequencies of P and S waves;
7. application in necessary of zero phase frequency bandpass filters to seismic records;
8. definition of polarization parameters of P and S waves;
9. determination of the 1st and 2nd phase time, amplitudes of P and S wave signals in different seismic attribute records;
10. calculation of layer velocities of propagation P and S waves in the medium;
11. correction of wave time and velocities on depths at which signal/noise ratio is low;
12. calculation of Poisson, Young and other ratio of elasticity modulus;

13. calculation of values of the seismic anisotropy by the time difference of fast and slow shear waves;

14. calculation of values of the seismic waves' absorption by their amplitudes.

The seismograms of P and S waves, obtained after the processing of the field seismic records, are given in fig. 1 as an example for object_1.

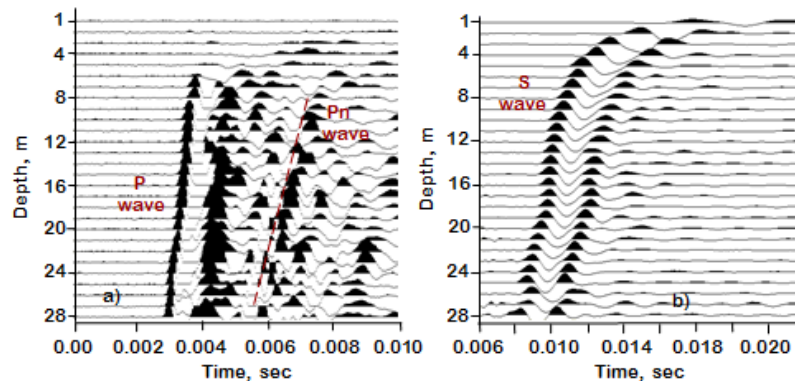


Fig. 1. NSCW seismograms after processing of Object_1:
a – pressure wave; b – shear wave

Here the first P and S waves are steadily traced on which their kinematic and dynamic parameters were defined. The precision of S wave times is approximately two times higher than by P wave. The changes of waves parameters depending upon the observation depth are recorded in the seismograms. Various unwanted energies are observed in the seismogram by P wave (fig. 1, a). The regular unwanted signal defined as P_N has double arrival time and low apparent velocity than P wave. Probably, the P_N is multiple P wave.

Definition of the physical properties of the environment. The thin-layer one-dimensional models of the environment were defined by V_p , V_s , ν , E , n_1 , n_2 , a , b and c as a result of the seismic records processing. Here n_1 , n_2 – are combined, but a and c are the elasticity moduli of the third order (Guliyev et al., 2016; Aleksandrov et al., 2001). The values of moduli of the third order were calculated by the non-classic theory of deformation (Vyzhva et al., 2005; Kuliev, 2000) considering the geostatic pressure in the environment. Values of moduli n_1 , n_2 , a , b and c are corresponded to the conditions of atmosphere pressure. The data on velocities of the pressure and shear waves SH , SV , rocks density and geostatic pressure for every depths were used for moduli calculations.

The time rate of the seismic waves was studied by their rate spectrum and band filters of the different ranges. The amplitudes of time phases, "visible time rate", calculated by

time phases of the wave signal, were used to get the precise data regarding the waves. The time rate of waves and amplitude values, related with depth change, were defined. The processing results were interpreted according to the accepted technique (Aghayev et al., 2012; Suroso et al., 2017; Wadhwa et al., 2005; Oshkin et al., 2016).

Results and discussions. The results of studies are given for three objects mentioned above. For the first object (object_1) the results are complete, for the rest two ones they are partial. The results are discussed individually for each object and by the physical parameters of the environment.

The properties of the rocks seismic velocities for Object_1. According to P and S waves, with increase of depth, the layers velocities increase gradually by small variations (fig. 2, a). The most velocity gradient is observed at the depth of 1–6 m and by V_p . It is related with gradual increase of saturation of the rocks with groundwater. In the following depths the velocity change is related with porosity, density, lithology of the rocks and, according to P , with water-saturation changes. Unlike the V_p which characterizes the solid and liquid part of the skeleton, V_s doesn't practically depend upon the rock saturation (Garotta, 2000) and describes only the solid part of the rock skeleton. The quantity and hardness of contacts between the rocks grains strongly influences the V_s . Therefore, V_s more accurately characterizes the strength of the rock.

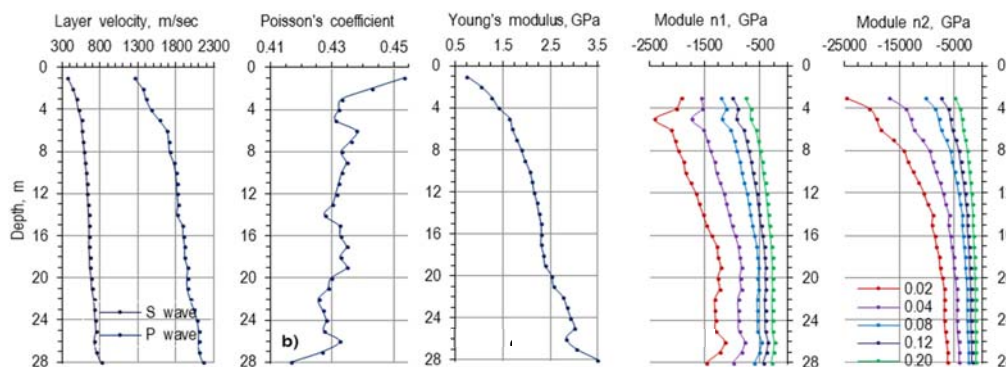


Fig. 2. The graphs of dependences of the seismic velocities and elasticity moduli values upon the depth for Object_1:
a – layer velocity for pressure and shear waves; b – by ν ; c – by E ; d – by n_1 ; e – by n_2

According to depth interval 1–28 m the correlation 0,974 of intermediate dependence between V_p and V_s was approximated by the linear function (fig. 3) coefficient.

$$V_s = -0,1328 + 0,4195V_p$$

This equation is correct within the velocity values given in fig. 2, a.

Elastic properties of the rocks for Object_1. The value of ν differentiates strongly with depth increase and changes with great gradient (fig. 2, b). As the water-saturation influences upon V_p and V_s in different ways (Burger, 1992; Burger et al., 2006; Puzyrev et al., 1985; Garotta, 2000), this coefficient cannot completely describe the elasticity properties of the rock matrix particles. According to Young's modulus, the graph is multiply differentiated and the changes of the rocks elasticity properties reflect there more substantively (fig. 2, c). It is related with differences of formulae of the elasticity moduli calculation and with more stable change of V_s with depth than V_p has. In the present research the moduli n_1 and n_2 were used to study the elasticity of the environment's rocks and the jointing simulation (ξ) by disk-shaped fractures (Maslov et al., 2000). It is assumed that the change of ξ characterizes the rock porosity change. Testing n_1 and n_2 was carried out for various values of ξ (0,02÷0,20) and depth of observation. An increase in ξ corresponds to an increase in the porosity of the rock. The values of n_1 and n_2 are calculated taking into account the geostatic pressure at each depth of observation. The graphs from fig. 2, d,e show that at equal value of ξ the values of n_1 and n_2 decrease with the depth grow. This is due to the increase in the values of the velocities and density of rocks in depth. The results of the calculations show (fig. 2, d, e) that as the porosity increases, the absolute value of n_1 , n_2 and accordingly the elasticity

of the rocks decreases. The value of changes within wider range than by n_1 (fig. 2, d, e). With an increase in ξ , the gradient of the variation of and decreases with depth. With the same value of ξ , with increasing depth the values of n_1 and n_2 decrease. This is due to the increase in the difference in the rock pressure. These changes show the possibility of predicting the variability of rock porosity with the use of the above modules.

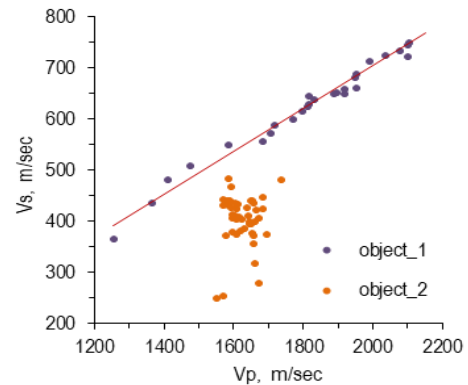


Fig. 3. Dependency between pressure and shear wave velocities

The difference between the maximum and minimum values of each elasticity modulus is determined. It was obtained that the differential by moduli ν , E , n_1 and n_2 (at $\xi = 0,20$) is 9 %, 127 %, 122 % and 184 % accordingly. It points to the great range of n_1 and n_2 change and their high sensitivity to variability of the rocks' elastic properties than moduli of the second order. The moduli n_1 and n_2 can be applied when forecasting the rocks' porosity.

The values of moduli a , b , c and ν by the classic and non-classic theory of deformations for object_1 and object_3 are given in table 1.

Table 1

The values of elastic properties of rocks of the environment

object_1						object_3					
depth	$a \times 10 \times$	$b \times 10 \times$	$c \times 10 \times$	ν of	ν of no	depth	$a \times 10 \times$	$b \times 10 \times$	$c \times 10 \times$	ν of	ν of no
m	GPa	GPa	GPa	classic	classic	m	GPa	GPa	GPa	classic	classic
5	-213	253	-801	0,431	0,432	5	1863	-2782	8358	0,160	0,177
6	-98	74	-248	0,438	0,432	6	-2782	4193	-12583	-0,081	0,177
7	-136	150	-472	0,436	0,432	7	-3747	5621	-16893	0,069	0,177
8	-98	106	-340	0,433	0,432	8	-953	1435	-4322	0,052	0,177
9	-149	180	-560	0,435	0,432	9	-360	545	-1643	0,086	0,177
10	-61	54	-184	0,433	0,432	10	-1190	1786	-5368	0,113	0,177
11	-61	58	-194	0,432	0,432	11	-546	820	-2470	0,120	0,177
12	-90	105	-331	0,431	0,432	12	-210	318	-957	0,078	0,177
13	-111	138	-432	0,430	0,432	13	503	-755	2252	0,185	0,177
14	-174	235	-721	0,428	0,432	14	-824	1233	-3710	0,155	0,177
15	-173	230	-703	0,432	0,432	15	73	-109	322	0,142	0,177
16	-166	221	-676	0,433	0,432	16	-2023	3033	-9107	0,009	0,177
17	-147	193	-589	0,435	0,432	17	525	-792	2365	0,265	0,177
18	-133	174	-535	0,433	0,432	18	5	-40	112	0,417	0,177
19	-125	161	-495	0,435	0,432	19	-168	222	-669	0,422	0,177
20	-156	210	-641	0,430	0,432	20	-488	694	-2088	0,428	0,177
middle	-131	159	-495	0,433	0,432	middle	-645	964	-2900	0,164	0,177

As a result of comparing the following had been discovered:

- the dispersion of values a , b , c and ν for object_1 is significantly lower than for object_3;

- the difference of ν values average by depth by the classic and non-classic theory for object_1 and object_3 is +0,14 % and -7,49 % accordingly;

- the difference of ν values by classic and non-classic theory for separate depths is greater for object_3 than for object_1;

- the negative values of ν were obtained by the non-classic theory of deformation for object_3 for the depths 1–3 m and 6 m.

For every object the application of non-classic theory allowed to get the equal values of ν by all depths of observations. It is necessary to mention that when calculating ν values by the non-classic theory it is proposed that in the studied depths the rocks have a similar lithological composition but different values of the rock pressure.

Anisotropy properties of the rocks for Object_1. In all studied objects the shear waves of SH and SV type are traced in the seismic records (fig. 4, a). These waves have the equal frequency spectrum but different arrival time to seismic receiver. In the seismic records the high-velocity SH wave are traced in the horizontal components, but in the vertical components – the low-velocity SV wave (Taeseo and Paul, 2013; Karpov et al., 2014; Puzyrev et al., 1985). The time differences of these waves change by depth accordingly, 1,0 ms in an average. These differences make it possible to determine the rock anisotropy from the seismic velocity (Suroso et al., 2017; Thomsen, 2002) (fig. 4, b). In the horizontal direction the wave width covers the rocks particles, but in the vertical direction it travels with great velocity (Dugarov et al., 2011; Karpov et al., 2014; Puzyrev et al., 1985). Due to direction of the covered particles of the rocks of the observed seismic anisotropy the sites to study had been accepted considering the following properties:

1. according to well data from the sites, the rocks layers occur approximately in the horizontal direction;

2. the rocks of the site have no microfractures due to the softness, great porosity and low pressure at the occurrence places;

3. the anisotropy is observed by sand, clayey sands, and clay beds containing the organic matter.

The anisotropy values change within 5–25 % and are observed at the depth interval 14–28 m maximum (fig. 4, b). Similar results with various values of the anisotropy were obtained in all studied objects. All these prove once more that in spite of the presence of isotrope in the pure clay, it (clay) has the properties of the seismic anisotropy, related with direction of packing of the rocks particles with pure and mixed sands (Puzyrev et al., 1985).

Absorption properties of the rocks for Object_1. It is known that the variability of the frequency of the detected signal depends on the factors (Puzyrev et al., 1985; Garotta, 2000; Boganik and Gurvich, 2006): the greater the hardness of the rock in the medium, the greater the frequency of the excited signal and the less the signal absorption in the medium between the source and the receiver; the higher the frequency of the hormone signal, the greater its absorption (Boganik and Gurvich, 2006). The influence of these factors cannot be separated when determining the absorption from data with a simple NSCW observation system. Therefore, the absorbing property of the medium, determined from the data used, is a priori information.

An increase of visible frequency of seismic signal with a depth is mainly observed on seismograms (fig. 1, a, b) and on charts (fig. 4, c). From the depth of 2 m to 12 m visible frequency is increased by 65 % P wave and 35 % S wave. For a 2–28 m interval, a relationship between the frequency (f , Hz) and the velocity (V , km/sec) is determined jointly by both waves. The dependence is approximated by a linear function, with a correlation coefficient of 0,925.

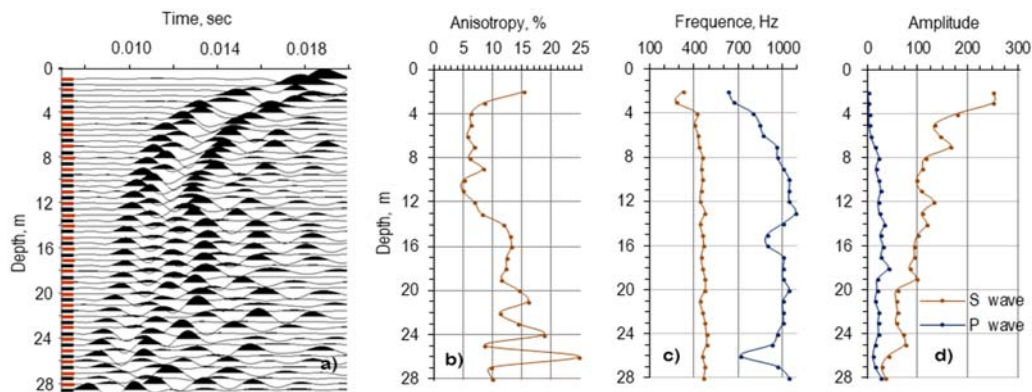


Fig. 4. Anisotropic and absorption properties of the environment for object_1:
a – (—) and (---) type shear wave seismic records; b – anisotropy coefficient; c – visible

The amplitude of the phase of the wave signal is substantially higher than γ (fig. 4, d). At depths of 2–28 m, the amplitude gradient is +0,6/m in P wave and -6,2/m in SH wave. Despite the increase in the frequency P of the wave with depth, its amplitude also increases, which indicates a weak absorption of it in the rocks of the medium. The large and negative gradient of the amplitude of the SH wave is probably due not to an increase in its absorption with depth, but to a decrease in its intensity upon its excitation. It is assumed that the impact force to the well wall was a source of wave excitation and was stable at all depths. Therefore, the change in the SH wave amplitude characterizes the variability of the medium rocks in depth. Thus, the absorbing property of the medium rocks is not a determining factor of influence on the values of the wave

amplitudes. The determining factor is the conditions for the excitation of waves in the rocks of the medium.

The properties of the rocks' seismic velocities for Object_2. During 2 years the studies by NSCW method was performed twice within the present object. According to the results of both studies, as the depth increases, V_s gradually increase with varieties (fig. 5, a). This is explained by the fact that as the geostatic pressure increases, the porosity of the rock decreases, which leads to an increase and improvement of the contacts between its grains. Variation of velocity V_s at different depths is related to lithological variability. According to the first NSCW study, after a depth of 8 m (full water saturation), the V_p does not increase substantially. For this object, the velocities are low, which is

explained by high clayiness, porosity and water saturation of the rocks of its environment. For this reason, there is no correlation between the values of the V_p and V_s (fig. 3). In this depth interval, the maximum anisotropy value is about 2 %. Such a low value of anisotropy is explained with high clay content of rocks.

After the first NSCW study the abnormal pressure of layers was reduced significantly at the object site. It was related with construction of great number of the deep concrete piles. Therefore, in rocks the porosity and water saturation are reduced, the density is increased. Then the NSCW work was conducted for the second time with a view to monitoring. A comparison of the results of the two studies

is given in (fig. 5). After monitoring V_p and V_s are generally increased. In the depth interval 1–7 m V_p did not change, but after 7 m it gradually increased (fig. 5, a). The difference in the values of V_s is gradually increasing after 25 m. After monitoring, the gradient of the V_p increase with a depth greater than V_s . This is due to the decrease in layer pressure and, accordingly, porosity, water saturation of rocks. At a depth of 40 m, the increase in the values of V_p and V_s is 35 % and 24 %, respectively.

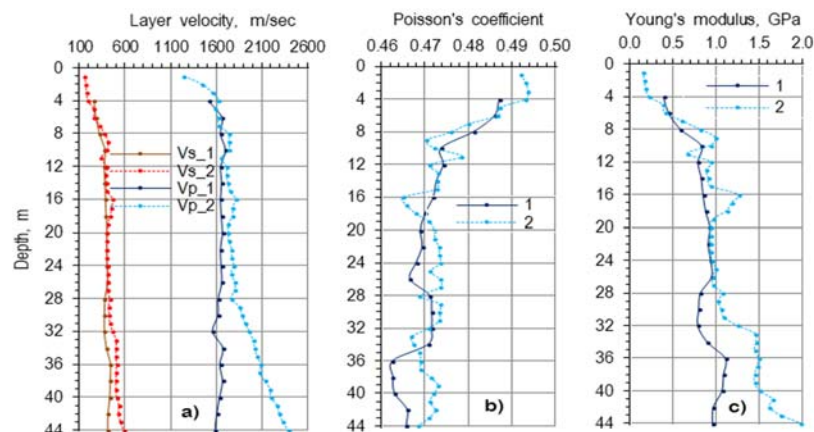


Fig. 5. Properties of the environment rocks at object_2 after the first (1) and second (2) NSCW studies: a – layer velocity of the pressure and shear waves; b – by ν ; c – by E

Elastic properties of the rocks for Object_2. The value of modulus of the rocks elasticity of the present object shows the presence of less elasticity in comparison with other objects. After a second NSCW study, the values of the ν and the E were increased by 2% and 41 % (fig. 5, b, c). A small and reverse change in the value of the Poisson's ratio is associated with a higher increase in the value of V_p than V_s (fig. 5, a). This shows that the use of ν to determine the elastic properties of highly porous water-saturated rocks is not sufficiently effective.

Velocity and elastic properties of the rocks for Object_3. With increase of depth the velocity of P and S waves gradually increase with variations. For S wave the strongest gradient of the velocities' increase is observed in the depth interval 1–4 m that is caused the clayey rocks compaction. At the depth interval of 5–17 m there is a small gradient of velocities increase on the pebble rocks. The significant increase of velocities and intensity of P waves is observed at the depths of 17–20 m that is caused by the beginning of gravels' saturation with groundwater. This is not observed by the S wave. It is known that under the equal conditions the better contact between the rocks particles the quicker propagation of wave (Puzryev et al., 1985; Garotta, 2000; Boganik and Gurvich, 2006). The values of V_p and V_s in pebbles are noticeably higher than in clays, sands and even in the limestones. Due to this, the values of V_s are increased, but V_p are decreased as compared to other objects with clayey sediments. Thus, the real object was obtained consisting of local coarse gravel, ν value of the rocks calculated by the classic theory, not water-saturated at the depth of 1–3 m and negative at the depth of 6 m, not real at the other depths and well water-saturated at the

depths of 18–20 m (table 1). Thus, because of higher precise of definition of wave S velocity and its independence from the water saturation, it characterizes the velocity and elastic properties of the rocks more precisely.

Conclusions. As a result of the research by the method of NSCV of the upper part of geological media, the properties of rocks by seismic velocity and elasticity were determined. In addition to these, the following was identified:

- the amplitude of the shear wave better than its frequency reflects the variability of the properties of the rocks of the medium;
- the anisotropy of the seismic velocity of the differently polarized shear waves is due to the direction of packing of the rock particles;
- moduli of elasticity of 3rd are more sensitive to the variability of the elastic properties of rocks than 2nd modules, and it is possible to test porosity of rocks on them;
- the application of the nonclassical theory of deformation made it possible to more reliably determine the elastic properties of the rocks in the medium.

The detailed results of studies by NSCW method can be used in the studies in the construction sites with complex surface of the seismic properties as well as in the studies of low-velocity zones of the multiwave seismic surveys.

Acknowledgment. The present work was performed within the grant project № 6284 of the Science and Technology Center in Ukraine.

Список використаних джерел

- Александров, К.С., Продайвода, Г.Т., Маслов, Б.П. (2001). Метод определения нелинейных упругих свойств горных пород. Докл. РАН, 380(1), 109-112.
- Александров, К.С., Продайвода, Т.Г. (2000). Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород. Новосибирск: Издательство СО РАН.
- Антипов, В.В., Офрихтер, В.Г. (2016). Современные неразрушающие методы изучения инженерно-геологического разреза. Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура, 7, 2. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.2.04

- Безродна, І., Безродний, Д., Голяка, Р. (2016). Математичне моделювання впливу мінерального складу та пористості на параметри пружної анізотропії складно побудованих теригенних порід Волино-Поділля. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 73, 27-32.
- Боганик, Г.Н., Гурвич, И.И. (Ред.) (2006). Сейсморазведка. Учебник для вузов. Тверь: Издательство АИС.
- Выжва, С.А., Маслов, Б.П., Продайвода, Г.Т. (2005). Эффективные упругие свойства нелинейных многокомпонентных геологических сред. *Геофизический журнал*, 27(6), 1012-1022.
- Гаротта, Р. (2000). Поперечные волны: от регистрации до интерпретации. Краткий курс лекций для высших учебных заведений.
- Дейнеко, С., Вижва, С., Нестеренко, Г., Берневек, А., Івашенко, С. (2017). Сейсмоакустичний моніторинг стану ґрунтів Дністровського шилу (у зоні розміщення напірно-стаціонарного вузла). *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 78, 30-35.
- Дугаров, Г.А., Оболонцева, И.Р., Чичина, Т.И. (2011). Анализ анизотропии скоростей и поглощения сейсмических волн в среде с одной системой параллельных границ. *Технологии сейсморазведки*, 3, 29-41.
- Карпов, И.А., Горшкालёв, С.Б., Вишневы, Д.М. (2014). Два механизма образования взаимно ортогонально поляризованных поперечных волн по данным ВСП. *Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырёва, 8-13 декабря, Новосибирск*, 49-54.
- Кулиев, Г.Г. (2000). Определение коэффициента Пуассона в напряженных средах. *Доклады РАН*, 370(4), 534-537.
- Маслов, Б.П., Продайвода, Г.Т., Выжва, С.А. (2000). Математичне моделювання впливу тиску і у тріщинуватих гірських породах. *Геофизический журнал*, 22, 113-118.
- Ошкин, А.Н., Ермаков, Р.Ю., Рагозин, Н.А., Игнатьев, В.И. (2016). Межскважинное сейсмическое просвечивание - опыт, методология, аппаратура. *Приборы и системы разведочной геофизики*, 3, 37-47.
- Пузырев, Н.Н., Тригубов, А.В., Бродов, Л.Ю. и др. (1985). Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн. М.: Недра.
- Ясницкий, А.А., Колодий, А.А., Шабарин, В.Н. (2012). Сравнение эффективности применения метода MASW с традиционными методами сейсморазведки для целей инженерных изысканий. *8-я международная конференция и выставка – Инженерная геофизика, 23-27 апреля, Геленджик, Россия*, 1-5.
- Aghayev, K.H.B., Amrahov, A.T., Mehralyev, F.E. (2012). Engineering-geophysical researches by translucence of cross-hole phase method. *Geophysics news in Azerbaijan*, 1-2, 17-21.
- Burger, H. R., Sheehan, A. F., Jones, C. H. (2006). Introduction to Applied Geophysics: Exploring the shallow subsurface W.W. Norton & Co., New York.
- Burger, H.R. (1992). Exploration geophysics of the shallow subsurface. United States. Prentice Hall.
- Crice, D. (2011). Near-surface, downhole shear-wave surveys: A primer. *The Leading Edge*, 30(2), 164-171.
- Gheslaghi, F., Santamarina, J.C. (1998). Data pre-processing in cross-hole geotomography. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 3, 41-47.
- Guliyev, H.H., Aghayev, K.H.B., Hasanova, G.H. (2016). Determining the Elastic Moduli of the Third Order for Sedimentary Rocks Based on Well-Logging Data. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 52(6), 836-843.
- Guliyev, H.H., Aghayev, K.H.B., Shirinov, N.M. (2010). The research of the influence of the pressure to the values of elastic parameters of geological medium on the basis of seismic and well data. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 50, 10-16.
- Li G., Stewart, R. R. (1996). Data processing methods for crosswell seismic imaging. *Seismic Exploration*, 5, 213-228.
- Manufacturer of seismic borehole equipment for tomography, crosshole and downhole applications (n. d.). Retrieved from www.crosswellinstruments.de
- Moret, G.J.M., Knoll, M.D., Barrash, W. Clement W. P. (2006). Investigating the Stratigraphy of an Alluvial Aquifer Using Crosswell Seismic Traveltime Tomography. *Geophysics*, 71, 3, B63-B73. 14 FIGS. 10.1190/1.2195487
- Park, C. B., Miller, R.D. Xia, J., Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW) – active and passive methods. *Kansas Geological Survey, Lawrence, USA, THE LEADING EDGE JANUARY*, 60-64.
- Park, C.S., Lim, J.Y., Choi, C.L., Kong, B.C., Mok, Y.J. (2008). Recent development of borehole seismic tests. *World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China*.
- Pratt, R.G., Sirgue L., Hornby B., Wolfe J. (2008). Crosswell waveform tomography in fine-layered sediments. *Meeting the challenges of anisotropy 70th EAGE Conference & Exhibition, 9 - 12 June, Rome, Italy*, 1-5.
- Suroso, T., Laksono, H., Triyoso, W., Priyono, A. (2017). Estimating an isotropy parameter by shear wave splitting of crosswell seismic data: a case study on inter-bedded sand-shale layers. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Sci. 62/ 012019*, 1-7. DOI: 10.1088/1755-1315/62/1/012019.
- Taesoo, K., Paul, W. (2013). Evaluating the In Situ Lateral Stress Coefficient (K_0) of Soils via Paired Shear Wave Velocity Modes. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 775-787. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000756.
- Thomsen, L. (2002). Understanding Seismic Anisotropy in Exploration and Exploitation. *Distinguished Instructor Short Course. Distinguished Instructor Series*, 5, 238.
- Tokeshi, K., Harutoonian, P., Leo, C. J., Liyanapathirana S. (2013). Use of surface waves for geotechnical engineering applications in Western Sydney Adv. *Geosci.*, 35, 37-44. DOI: 10.5194/adgeo-35-37-2013
- Wadhwa, R.S., Ghosh, N., Chaudhari, M.S., Ch.Subba Rao and Raja Mukhopadhyay (2005). Pre and post-excavation cross-hole seismic and geotomographic studies for a Nuclear Power Project. *J. Ind. Geophys. Union*, 9(2), 137-146.

Reference

- Aghayev, K.H.B., Amrahov, A.T., Mehralyev, F.E. (2012). Engineering-geophysical researches by translucence of cross-hole phase method. *Geophysics news in Azerbaijan*, 1-2, 17-21.
- Aleksandrov, K.S., Prodajvoda, G.T., Maslov, B.P. (2001). Metod opredeleniya nelinejnyh uprugih svojstv gornyh porod. *Dokl. RAN*, 380(1), 109-112. [in Russian]
- Aleksandrov, K.S., Prodajvoda, T.G. (2000). Anizotropiya uprugih svojstv mineralov i gornyh porod. Novosibirsk: Izdatelstvo SO RAN. [in Russian]
- Antipov, V.V., Ofrikhter, V.G. (2016). Modern nondestructive method of researching of geological-engineering section. *PNRPU Bulletin Construction and architecture*, 7, 2, 37-49. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.2.04. [in Russian]
- Bezrodna, I., Bezrodnyi, D., Holiaka, R. (2016). Mathematical modelling of influence of the mineral composition and porosity on elastic anisotropic parameters of complex sedimentary rocks of Volyn-Podolia area. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 73, 27-32. [in Ukrainian]
- Bogani, G.N., Gurchik, I.I. (Eds.) (2006). Sejsmorazvedka. Uchebnik dlya vuzov. Tver: Izdatelstvo AIS. [in Russian]
- Burger, H. R., Sheehan, A. F., Jones, C. H. (2006). Introduction to Applied Geophysics: Exploring the shallow subsurface W.W. Norton & Co., New York.
- Burger, H.R. (1992). Exploration geophysics of the shallow subsurface. United States. Prentice Hall.
- Crice, D. (2011). Near-surface, downhole shear-wave surveys: A primer. *The Leading Edge*, 30(2), 164-171.
- Dejneko, S., Vizhva, S., Nesterenko, G., Bernevek, A., Ivashenko, S. (2017). Sejsmoakustichnij monitoring stanu gruntiv Dnistrovskogo shilu (u zoni rozmishennya napirno-stacionarnogo vuzla). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 78, 30-35. [in Ukrainian]
- Dugarov, G.A., Obolenceva, I.R., Chichina, T.I. (2011). Analiz anizotropii skorostej i poglosheniya sejsmicheskikh voln v srede s odnoj sistemoy parallelnykh granic. *Tehnologii sejsmorazvedki*, 3, 29-41. [in Russian]
- Garotta, R. (2000). Poperechnye volny: ot registracii do interpretacii. Kratkij kurs lekcij dlya vysshih uchebnyh zavedenij. [in Russian]
- Gheslaghi, F., Santamarina, J.C. (1998). Data pre-processing in cross-hole geotomography. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 3, 41-47.
- Guliyev, H.H., Aghayev, K.H.B., Hasanova, G.H. (2016). Determining the Elastic Moduli of the Third Order for Sedimentary Rocks Based on Well-Logging Data. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 52(6), 836-843.
- Guliyev, H.H., Aghayev, K.H.B., Shirinov, N.M. (2010). The research of the influence of the pressure to the values of elastic parameters of geological medium on the basis of seismic and well data. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 50, 10-16.
- Karpov, I.A., S.B. Gorshkalyov, S.B., Vishnevskij, D.M. (2014). Dva mehanizma obrazovaniya vzaimno ortogonalno polarizovannyh poperechnykh voln po dannym VSP. *Materialy Vserossijskoj konferencii, posvyashennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.N. Puzyryova, 8-13 dekabrya, Novosibirsk*, 49-54. [in Russian]
- Kuliev, G.G. (2000). Opredelenie koefficienta Puassona v napryazhennyh sredah. *Dokl. RAN*, 370(4), 534-537. [in Russian]
- Li G., Stewart, R. R. (1996). Data processing methods for crosswell seismic imaging. *Seismic Exploration*, 5, 213-228.
- Manufacturer of seismic borehole equipment for tomography, crosshole and downhole applications (n. d.). Retrieved from www.crosswellinstruments.de
- Maslov, B.P., Prodajvoda, G.T., Vyzhva, S.A. (2000). Matematichne modelirovaniya vplyvu tisku i u trishinuvatih girs'kikh porodah. *Geophys. journal*, 22, 113-118. [in Ukrainian]
- Moret, G.J.M., Knoll, M.D., Barrash, W. Clement W. P. (2006). Investigating the Stratigraphy of an Alluvial Aquifer Using Crosswell Seismic Traveltime Tomography. *Geophysics*, 71, 3, B63-B73. 14 FIGS. 10.1190/1.2195487
- Oshkin, A.N. Ermakov, R.Yu. Ragozin, N.A. Ignatev, V.I. (2016). Mezhskvazhinnoe sejsmicheskoe prosvetchniye – opyt, metodologiya, apparatura. *Pribory i sistemy razvedochnoj geofiziki*, 3, 37-47. [in Russian]
- Park, C. B., Miller, R.D. Xia, J., Ivanov, J. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW) – active and passive methods. *Kansas Geological Survey, Lawrence, USA, THE LEADING EDGE JANUARY*, 60-64.
- Park, C.S., Lim, J.Y., Choi, C.L., Kong, B.C., Mok, Y.J. (2008). Recent development of borehole seismic tests. *World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China*.
- Pratt, R.G., Sirgue L., Hornby B., Wolfe J. (2008). Crosswell waveform tomography in fine-layered sediments. *Meeting the challenges of anisotropy 70th EAGE Conference & Exhibition, 9-12 June, Rome, Italy*, 1-5.
- Puzyrev, N.N., Trigubov, A.V., Brodov L.Yu. et al. (1985). Sejsmicheskaya razvedka metodom poperechnykh i obmennyykh voln. M.: Nedra. [in Russian]
- Suroso, T., Laksono, H., Triyoso, W., Priyono, A. (2017). Estimating anisotropy parameter by shear wave splitting of crosswell seismic data: a case study on inter-bedded sand-shale layers. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Sci. 62/ 012019*, 1-7. DOI: 10.1088/1755-1315/62/1/012019.
- Taesoo, K., Paul, W. (2013). Evaluating the In Situ Lateral Stress Coefficient (K_0) of Soils via Paired Shear Wave Velocity Modes. *Journal of*

geotechnical and geoenvironmental engineering, 775-787. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000756.

Thomsen, L. (2002). Understanding Seismic Anisotropy in Exploration and Exploitation. *Distinguished Instructor Short Course. Distinguished Instructor Series*, 5, 238.

Tokeshi, K., Harutoonian, P., Leo, C.J., Liyanapathirana S. (2013). Use of surface waves for geotechnical engineering applications in Western Sydney Adv. Geosci., 35, 37–44. DOI: 10.5194/adgeo-35-37-2013

Vyzhva, S.A., Maslov, B.P., Prodajvoda, G.T. (2005). Effektivnye uprugie svoystva nelinejnyh mnogokomponentnyh geologicheskikh sred. *Geophys. Journal*, 27(6), 1012–1022. [in Russian]

Wadhwa, R.S., Ghosh, N., Chaudhari, M.S., Ch.Subba Rao and Raja Mukhopadhyay (2005). Pre and post-excavation cross-hole seismic and geotomographic studies for a Nuclear Power Project. *J. Ind. Geophys. Union*, 9(2), 137–146.

Yasnickij, A.A., Kolodij, A.A., Shabarin, V.N. (2012). Sravnenie effektivnosti primeneniya metoda MASW s tradicionnymi metodami sejsmorazvedki dlya celej inzhenernyh izyskanij. *8-ya mezhdunarodnaya konferenciya i vystavka – Inzhenernaya geofizika*, 23–27 aprelya, Gelendzhik, Rossiya, 1–5. [in Russian]

Надійшла до редколегії 17.12.18

Г. Кулієв¹, д-р фіз.-мат. наук, проф., акад. НАНА
Керівник відділу "Тектонофізика і геомеханіка"
E-mail: hatamguliyev@gmail.com, тел.: +994 12 5105617;

Х. Агаєв¹, канд. геол.-мінералог. наук

Пров. наук. співроб. відділу "Тектонофізика і геомеханіка"

E-mail: khagayev@yahoo.com, тел.: +994 12 5105617;

Ф. Мехралієв², директор GeoGlobe Ltd

E-mail: fuadmehrali@yahoo.com, тел.: +994 12 4977421;

Е. Ахмедова¹, мол. наук. співроб. відділу "Тектонофізика і геомеханіка"

E-mail: ella_ezizova@mail.ru, тел.: +994 12 5105617

¹Інститут геології і геофізики НАНА,

пр. Г. Джавіда, 119, Баку, AZ1143, Азербайджан

²GeoGlobe Ltd, вул. М. Мухтарова, 9, Баку, AZ1001, Азербайджан

ДО ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СКЛАДНО ПОБУДОВАНИХ СЕРЕДОВИЩ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ NEAR-SURFACE CROSWELL

Мета. Вивчення акустичних, пружних і анізотропних властивостей верхньої частини розрізу складнопобудованих геологічних середовищ.

Методика. На ділянках будівельних об'єктів, розташованих у різних сейсмогеологічних умовах, проведено сейсмічні спостереження в неглибоких свердловинах методом NSCW – near-surface cross well testing. Опрацьовано польові сейсмічні записи. Визначено кінематичні та динамічні параметри поздовжньої і різнополяризованих поперечних хвиль. Побудовано та проінтерпретовано тонкошаруваті одномірні моделі фізичних властивостей середовища на основі нелінійної теорії еластодинаміки.

Результати. Визначено, що навіколишні середовища з високопористими, водонасиченими породами і аномально високим пластивим тиском має аномально низьке значення швидкостей і градієнта збільшення їх з глибиною. При повторному вивченні цього середовища, після побудови там глибоких паль отримано завищені значення сейсмічних швидкостей, що пояснюється зменшенням у розрізі аномально високого пластивого тиску і, відповідно, пористості порід після монтажу паль. При збільшенні пустотності в ненасичених галькових породах, при розрахунках за стандартною методикою отримано від'ємне значення коефіцієнта Пуассона. При вивченні швидкостей поперечних хвиль виявлена сейсмічна анізотропія, що пов'язана з напрямком упаковки зерен порід. Зміна властивостей порід з глибиною має більш тісний зв'язок із частотами хвиль, ніж з їхніми амплітудами.

Наукова новизна. Визначено модулі пружності 3-го порядку, які більш чутливі до мінливості нелінійних пружних властивостей порід середовища, ніж модулі 2-го порядку. Значення коефіцієнта Пуассона для одних і тих самих порід, що перебувають у різних умовах гірського тиску, перераховані для умов заданого тиску на основі неklasичної теорії деформації.

Практична значимість. Отримані результати можуть застосовуватися для дослідження середовищ, що характеризуються складними сейсмогеологічними і гідродинамічними умовами і представлені глинисто-піщаними породами високої пористості та водонасичення.

Ключові слова: приповерхнева свердловина, тиск, поперечна хвиля, сейсмічна швидкість, модуль пружності, анізотропія, насичення, поглинання.

Г. Кулієв¹, д-р фіз.-мат. наук, проф., акад. НАНА
Рук. отдела "Тектонофізика і геомеханіка"
E-mail: hatamguliyev@gmail.com, тел.: +994 12 5105617;

Х. Агаєв¹, канд. геол.-мінералог. наук

Ведущ. науч. сотр. отдела "Тектонофізика і геомеханіка"

E-mail: khagayev@yahoo.com, тел.: +994 12 5105617;

Ф. Мехралієв², директор GeoGlobeLtd

E-mail: fuadmehrali@yahoo.com, тел.: +994 12 4977421;

Э. Ахмедова¹, мл. науч. сотр. отдела "Тектонофізика і геомеханіка",

E-mail: ella_ezizova@mail.ru, тел.: +994 12 5105617

¹Інститут геології і геофізики НАНА,

пр. Г. Джавіда, 119, Баку, AZ1143, Азербайджан

²GeoGlobeLtd, ул. М. Мухтарова, 9, Баку, AZ1001, Азербайджан

К ПРОБЛЕМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ СРЕД С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА NEAR-SURFACE CROSWELL

Цель. Изучение акустических, упругих и анизотропных свойств верхней части разреза сложнопостроенных геологических сред.

Методика. На участках строительных объектов, расположенных в различных сейсмогеологических условиях, проведены сейсмические наблюдения в неглубоких скважинах методом NSCW – near-surface cross well testing. Обработаны полевые сейсмические записи. Определены кинематические и динамические параметры продольной и разнополяризованных поперечных волн. Построены и проинтерпретированы тонкошаровые одномерные модели физических свойств среды на основе нелинейной теории эластодинамики.

Результаты. Определено, что среда с высокопористыми, водонасыщенными породами и аномально высоким пластивым давлением имеет аномально низкое значение скоростей и градиента увеличения их с глубиной. При повторном изучении этой среды, после построения там глубоких свай получены завышенные значения сейсмических скоростей, что объясняется уменьшением в разрезе аномально высокого пластивого давления и, соответственно, пористости пород после монтажа свай. При увеличении пустотности в ненасыщенных галечных породах, при расчётах по стандартной методике получено отрицательное значение коэффициента Пуассона. При изучении скоростей поперечных волн выявлена сейсмическая анизотропия, связанная с направлением упаковки зёрен пород. Изменение свойств пород с глубиной имеет более тесную связь с частотами волн, чем с их амплитудами.

Научная новизна. Определены модули упругости 3-го порядка, которые более чувствительны к изменчивости нелинейных упругих свойств пород среды, чем модули 2-го порядка. Значения коэффициента Пуассона для одних и тех же пород, находящихся в разных условиях горного давления, пересчитаны для условий заданного давления на основе неклассической теории деформации.

Практическая значимость. Полученные результаты могут применяться для исследования сред, характеризующихся сложными сейсмогеологическими и гидродинамическими условиями и представленными глинисто-песчаными породами высокой пористости и водонасыщения.

Ключевые слова: приповерхностная скважина, давление, поперечная волна, сейсмическая скорость, модуль упругости, анизотропия, насыщение, поглощение.

УДК 550.552.53.553

І. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: bezin3@ukr.net;

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.

E-mail: vyzhvas@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

АНАЛІЗ АКУСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ РУНОВЩИНСЬКОЇ ПЛОЩІ НА ОСНОВІ ПЕТРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У РІЗНИХ БАРИЧНИХ УМОВАХ

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

Представлено результати петроакустичних досліджень 68 зразків керна порід свердловини № 110 Рунувщинської площі Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) України. Дослідження швидкостей поздовжніх хвиль зразків виконано в різних баричних умовах за допомогою установок: "Керн-4" і високого тиску ВСЦ-1000. Проведено аналіз отриманих даних і розраховано пластові значення швидкостей поздовжніх хвиль.

Розглянуто характер зміни швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль для атмосферних умов вимірювання. Показано, що переважна кількість насичених мінералізованою водою зразків мають швидкість поздовжньої хвилі 3200–3500 м/с (для сухих зразків – 2100–2550 м/с), а швидкість поперечної хвилі для насичених зразків – 2100–2550 м/с (для сухих – 1400–1500 м/с).

Для колекції зразків, що виміряна в атмосферних умовах, встановлено кореляційну залежність швидкостей поздовжніх хвиль від їхньої густини з тісною кореляцією.

Досліджено кореляційні зв'язки швидкостей пружних хвиль від відкритої пористості насичених зразків. Встановлено залежності $V_p = f(K_r)$ з високим коефіцієнтом кореляції для трьох окремих вибірок однотипних за складом пісковиків.

При аналізі результатів акустичних досліджень в умовах змінних тисків для більшості зразків з досліджених інтервалів авторами отримано такі закономірності. Значення швидкості поздовжньої хвилі, що виміряні в атмосферних умовах, завжди менші за такі значення, отримані після зняття напруги; проте іноді спостерігаються досить відчутні коливання в їхній різниці, що можна пояснити різким (можливо, стрибкоподібним) закриттям мікротріщин у породі при збільшенні тиску та їхнім уповільненим розкриттям чи нерозкриттям при його зменшенні. Найбільш контрастні зміни в поведінці швидкостей поздовжньої хвилі характерні для окремих зразків (№ 27, 48, 50, 53/1), що, швидше за все, пояснюється характером структури пористої породи.

На основі апріорних даних і за результатами досліджень зразків за змінних тисків авторами розраховано значення швидкостей поздовжніх хвиль у пластових умовах, проведено їхній порівняльний аналіз із швидкостями, характерними для порід в атмосферних умовах, побудовано тісну ($R^2 = 0,85$) кореляційну залежність досліджених параметрів.

Ключові слова: петроакустичні дослідження, умови змінних тисків, Рунувщинська площа.

У зв'язку зі збільшенням глибин досліджень, температур і тисків в інтервалах пошуку та розвідки складно побудованих порід-колекторів, наявний комплекс геофізичних досліджень не завжди дає надійні результати при інтерпретації даних. Підвищення ефективності таких геофізичних досліджень може бути досягнуто за рахунок широкого залучення комплексних лабораторних петрофізичних досліджень. При пошуках і розвідці перспективних у нафтогазовому відношенні об'єктів завжди актуальним є проведення робіт у петрофізичних лабораторіях, де фізичні властивості зразків порід вивчаються в атмосферних умовах і в умовах, що моделюють пластові.

Стан проблеми. Петрофізичні дослідження осадових порід у пластових умовах є підґрунтям для складання петрофізичних моделей геологічних розрізів, які набагато поширюють можливості пошуків корисних копалин, зокрема нафти і газу. Певне місце серед фізичних характеристик геологічних порід становлять пружні параметри гірських порід і дані їхнього дослідження за високих тисків і температур. Подібна інформація сьогодні вельми обмежена і не систематизована (Корчин, 2010).

Дослідженням впливу тиску на швидкість пружних хвиль у породі займалися М. Adelinet, F. Birch, Chi-Yuen Wang, D.W. Durney, Y. Gueguen, D.H. Johnston, K. Klima, T. Lokajicek, Z. Pros, G. Simmons, T. Todd, M.N. Toksoz, L. Vernik, K. Vozoff, G. Yu, Г.М. Авчян, І.М. Безродна, Є.Б. Григорьев, Н.Б. Дортман, Є.Ф. Жук, В.С. Жуков, О.В. Іселідзе, Л.В. Конькова, В.А. Корчин, О.А. Матвеевко, Л.І. Орлов, Г.Т. Продайвода, А.Е. Рижов, З.Б. Стефанкевич, В.Г. Топорков та ін. Результати досліджень свідчать про те, що вплив баричних умов на фізичні, зокрема акустичні властивості порід може бути досить значним і неоднорідним (Kern, 2001).

Значні зміни швидкостей пружних хвиль низькопористих порід відбуваються на перших етапах стиснення (100–200 МПа) і пов'язані вони із закриттям мікротріщин, тонких пор на контактах зерен і найбільш нестійких пористот, що веде до загального зростання міцності

породи. Причому для низьких тисків швидкість поздовжньої хвилі в насичених зразках більша, ніж у сухих на 20–30 % (Pros, 1991). Для більших значень тиску зміни швидкості поздовжньої хвилі менш суттєві й пов'язані з ущільненням породи та контактів між зернами мінералів, а також продовженням закриття мікротріщин. При зростанні тиску від атмосферного до 400 МПа швидкість Р-хвилі у щільних породах, наприклад у граніті (Pros, 1998), може зрости на 24 %. Затухання пружних хвиль під впливом тиску значною мірою залежить від типу породи, її пористості та тріщинуватості, а для сухих порід (пісковики і вапняки) – вище, ніж для водонасичених (Johnston, 1980).

Значення, отримані для зростаючого тиску, зазвичай відрізняються від отриманих для спадаючого тиску через присутність незворотних деформацій у зразках порід. Крім того, дані для тисків вище за 500–600 МПа можна апроксимувати лінійною залежністю (Вижва, 2017; Баюк, 1982).

Вплив тиску на інтервальний час пробігу пружної хвилі має такий характер. Найменше змінюється для низькопористих порід, найбільше (близько 40–50 %) – для високопористих і слабкоцементованих порід, підвищення всебічного стиснення призводить до поліпшення акустичного контакту між окремими зернами, і, відповідно, до різкого зменшення часу проходження акустичних хвиль (Орлов, 1981).

В Україні питання впливу термобаричних умов на петрофізичні властивості гірських порід і дослідження порід-колекторів в умовах, що моделюють пластові, вивчено недостатньо, основні дослідження у цьому напрямі представлені роботами І.М. Безродної та С.А. Вижви (вплив тиску на акустичні та електричні параметри гірських порід) (Безродна, 2014; Вижва, 2017), С.Д. Федоришина (впливу тиску і температури на електропровідність складно побудованих порід-колекторів) (Федоришин, 2014), В.В. Рябухи (вплив тиску, що моделює пластовий, на електричні властивості порід)

(Рябуха, 2007), В.П. Кобольова та О.Ю. Корчина (вплив термобаричних умов на кристалічні гірські породи) (Корчина, 2010). Однак вивчення петрофізичних властивостей порід-колекторів в умовах, що моделюють пластові, у цих роботах зазвичай обмежується дослідженням питомого електричного опору та швидкостей пробігу пружних хвиль, а зв'язок фізичних параметрів з фільтраційно-ємнісними вивчений недостатньо.

Мета даної роботи – узагальнення акустичних властивостей порід-колекторів Руновщинської площі (C_3) в різних баричних умовах: від атмосферного до тиску, який відповідає умовам залягання порід у свердловині.

Руновщинська площа належить до перспективної Будищинсько-Чутівської ділянки, що розташована в приосовій зоні Дніпровсько-Донецької западини з товщиною осадового комплексу 9–11 км. Ділянка являє собою діапір і належить до територій з активним соляним тектогенезом. За відкладами нижнього і середнього карбону Руновщинське підняття являє собою вузьку брахіантикліналь субширотного простягання. На Руновщинській площі відкрито три родовища (два газові та одне нафтове).

Авторами проведено дослідження швидкостей поздовжніх хвиль колекції із 68 зразків Руновщинської площі (інтервали 3145–3158 м, 3217,2–3228,15 м, 3261,5–3283 м, 3313–3315 м свердловини № 110). Роботи виконано в межах госпдоговірної тематики в петрофізичній лабораторії ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка на замовлення ДП "Науканафтогаз України".

Зразки, що досліджувалися, представлені пісковиками відділу верхнього карбону (C_3) світло-сірими зі слабким зеленуватим відтінком, середньо- і крупнозернистими, олігоміковими, із глинистим безкарбонатним цементом і вкращеною вуглефікацією, однорідної нешаруватої текстури. Склад пісковиків за основними компонентами варіює від олігомікового до аркозо-граувакового за наявності більше 10 % теригенних уламків порід. Судячи із форми та характеру складу уламків, перенесення теригенного матеріалу відбувалося на незначну відстань. Породи утворилися за рахунок руйнування та перевідкладення матеріалу раніш сформованої теригенно-осадової товщі, до складу якої входили олігомікові пісковики на каолінітовому цементі, що утворилися в процесі перемивання кр вивітрювання кристалічних порід, аргілітів, алевролітів, кременистих та ефузивних порід. Склад цементу переважно глинистий, подекуди слюдисто-глинистий. Фіксується також елемент вилугування каолінітового цементу та польових шпатів із формуванням порожнин вилугування, які пізніше повністю або частково заповнюються кальцитом, доломітом, ангідритом та гіпсом (Вижва С.А. та ін., 2014).

Методика досліджень Швидкості поширення пружних хвиль визначалися із застосуванням імпульсно-фазового ультразвукового методу за допомогою цифрової установки "Керн-4", яку створено в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка. У процесі проведення ультразвукових вимірювань фазових швидкостей бралися до уваги дифракційні ефекти, які обумовлені розмірами п'єзoeлектричних випромінювачів і

приймачів ультразвукових хвиль та анізотропією гірських порід. Для експериментальних петрофізичних досліджень у різних баричних умовах використовувалася установка високого тиску ВСЦ-1000, яку було сконструйовано також у ННІ "Інститут геології" (Вижва, 2014). Установка дає можливість за зміни тиску від 1 МПа до 1000 МПа вимірювати швидкості пружних хвиль та електричний опір насичених зразків. Дослідження виконувались при збільшенні тиску від 0,1 до 120–400 МПа (залежно від вибірки зразків, яка виділена на основі глибини залягання порід) із кроком 10–50 МПа та за зворотного зменшення тиску до атмосферних умов.

Результати Лабораторні дослідження акустичних параметрів у різних баричних умовах дозволили визначити низку закономірностей, які характеризують вивчені породи.

Результати акустичних вимірювань показали, що значення швидкостей поздовжньої поляризації для екстрагованих зразків-пісковиків змінювались від 1889 м/с до 3224 м/с (для найменш пористих зразків) за середнього значення 2339 м/с (табл. 1). Значення швидкостей поперечних хвиль змінювалось від 1194 м/с (для найбільш пористих зразків) до 2066 м/с за середнього значення параметра 1492 м/с. При цьому відношення V_p/V_s зазвичай змінювалось у нешироких межах: 1,5–1,8.

Для досліджень в умовах стиснення зразки насичувалися моделлю пластової води (розчин NaCl з мінералізацією 170 г/л). При насиченні значення швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль, а також їхнє відношення, збільшилися переважно пропорційно відкритій пористості зразків, у деяких зразках – меншою мірою, завдяки, імовірно, глинистому цементу. Середнє значення швидкостей поздовжніх хвиль збільшилося більш ніж на 1000 м/с, а швидкостей поперечних хвиль – майже на 300 м/с. Насичення зразків привело до зміни акустичних властивостей зразків залежно від мінерального складу та структури пустотного простору (зокрема типів пустот та їхньої орієнтації). Ці відмінності також характеризують доволі широкі межі змін відношення V_p/V_s , яке варіює від 1,55 до 2,31 (табл. 1).

За результатами петрофізичних досліджень зразків, що насичені моделлю пластової води, в атмосферних умовах авторами проведено аналіз вимірюваних значень швидкостей поздовжньої (V_p) та поперечної (V_s) поляризації. Для аналізу даних петроакустичних досліджень побудовано гістограми розподілення параметрів і графіки залежності параметрів від глибини відбору зразків (рис. 1).

За гістограмами зміни швидкостей пружних хвиль (рис. 1) встановлено, що переважна кількість насичених зразків має швидкість поздовжньої хвилі в інтервалі 3200–3500 м/с (сухі – 2100–2550 м/с), а швидкість поперечної хвилі – 2100–2550 м/с (сухі – 1400–1500 м/с). Гістограми V_p та V_s мають наближено нормальний розподіл, що говорить про відносно однотипний мінеральний склад розглянутих порід.

Авторами для насичених зразків розрахована кореляційна залежність між швидкістю поздовжніх хвиль і об'ємною густиною порід (рис. 2).

Таблиця 1

Межі змін і середні значення акустичних параметрів пісковиків верхнього карбону

Значення параметра	Екстраговані зразки			Зразки, насичені моделлю пластової води		
	V_p , м/с	V_s , м/с	V_p/V_s	V_p , м/с	V_s , м/с	V_p/V_s
Середнє	2339	1492	1,57	3366	1786	1,8
Мінімальне	1889	1194	1,47	2918	1353	1,55
Максимальне	3224	2066	1,81	4596	2153	2,31

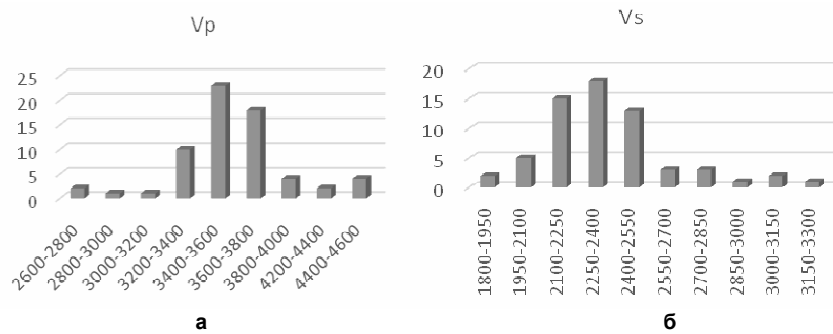


Рис. 1. Гістограми розподілу швидкостей пружних хвиль (атмосферні умови) у насичених зразках свердловини № 110 Руновщинської площі: а – швидкість поздовжньої хвилі; б – швидкість поперечної хвилі

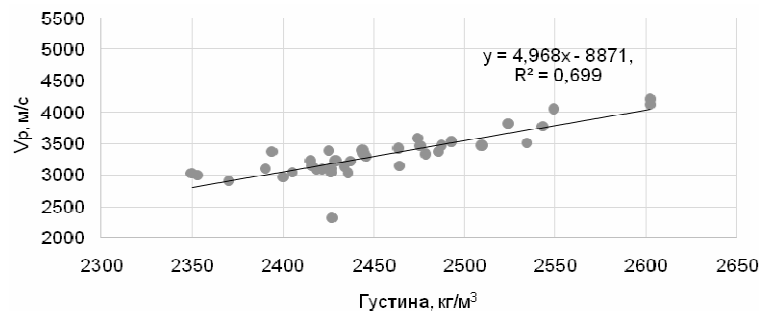


Рис. 2. Зміна швидкості поздовжньої хвилі насичених зразків свердловини № 110 Руновщинської площі залежно від густини

При аналізі залежностей швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль зразків від коефіцієнта відкритої пористості авторами не встановлено надійної залежності для всієї вибірки зразків. Це пояснюється, можливо, різним типом пустотного простору зразків. Більш стійкі залежності $V_p = f(K_n)$ отримані для трьох окремих вибірок однотипних за складом пісковиків (рис. 3). Стійка залежність для швидкостей поперечних хвиль авторами була отримана тільки для вибірки № 3. Це пояснюється авторами тим, що швидкості поперечних хвиль більш чутливі до неконтрольованих змін структури породи, які відбуваються за насичення.

Отримані взаємозв'язки апроксимуються здебільшого лінійними функціями з доволі тісною кореляцією (рис. 3). У подальшому авторами планується вивчення структури пустотного простору зразків свердловини саме за цими трьома вибірками.

На установці високого тиску проводилось вивчення тільки швидкостей поздовжніх хвиль насичених зразків.

Майже для всіх зразків з представлених інтервалів свердловини № 110 спостерігалось поступове зростання швидкості поздовжньої хвилі зі збільшенням тиску до його максимального значення, а потім зменшення величини V_p за більш плавною траєкторією.

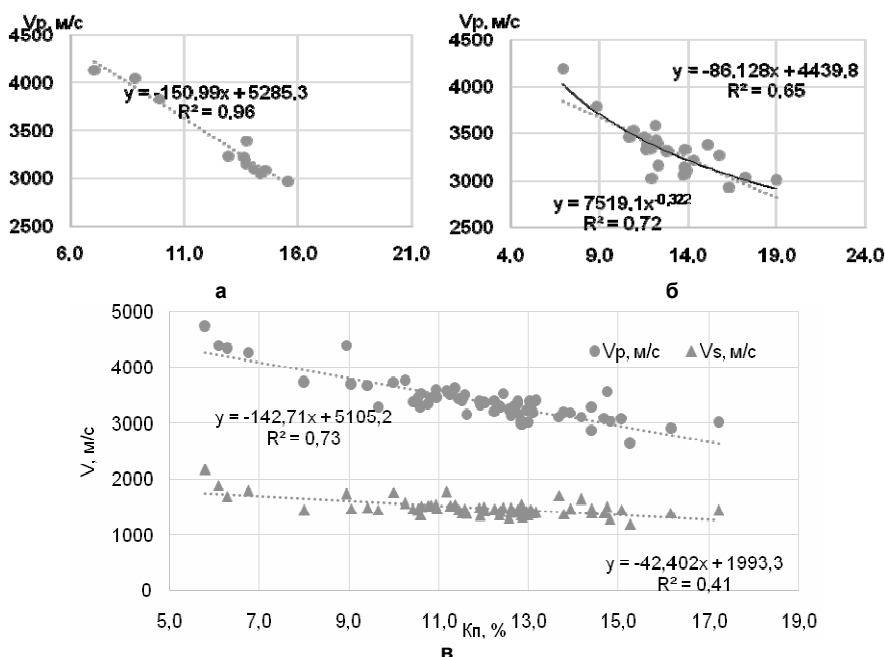


Рис. 3. Залежність швидкостей поширення пружних хвиль від пористості для вибірок № 1 (а), 2 (б), 3 (в) насичених пісковиків

Швидкості поздовжньої хвилі, що виміряні за атмосферного тиску ($V_{p \text{ атм}}$), для інтервалу глибин 3145–3158 м свердловини № 110 змінюються у досить широкому діапазоні від майже 3000 м/с до 4600 м/с (приклад на рис. 4, а), що є досить істотною величиною для інтервалу незначної потужності.

Максимальні значення ($V_{p \text{ max}}$), що відповідають умовам найвищого тиску, змінюються менш суттєво і коливаються у межах 4000–4950 м/с. Діапазон зміни $V_{p \text{ max}}$ майже вдвічі менший, ніж для умов атмосферного тиску. Істотно змінюються порівняно зі швидкостями $V_{p \text{ атм}}$ і їхні значення після циклу "навантаження-розвантаження" – від 3400 м/с до 4650 м/с. Найбільш контрастні зміни в поведінці швидкостей поздовжньої хвилі спостерігалися для зразків № 25, 27, 28 (інтервал 3274,2–3274,7 м), де амплітуда збільшення V_p коливається від 700 до майже 1100 м/с, що, швидше за все, пояснюється характером закриття мікротріщин у породі можливо більшою кількістю тріщин порівняно з іншими зразками цього інтервалу.

В інтервалі глибин 3217–3228 м поведінка поздовжніх швидкостей пружних хвиль (рис. 4, б) більш витримана (крім зразків № 48, 50 та 53/1), ніж у попередньому інтервалі, хоч значення $V_{p \text{ атм}}$ коливаються у межах 2700–4050 м/с. Перепад значень $V_{p \text{ атм}}$ становить 1350 м/с, що значно менше за попередній інтервал. Більш плавно змінюються максимальні значення хвилі поздовжньої поляризації за найвищого тиску: від 3750 до 4550 м/с. Як і для попереднього інтервалу спостерігається коливання значень $V_{p \text{ max}}$ порівняно з $V_{p \text{ атм}}$: діапазон їхньої зміни – від 3100 до 4350 м/с. Слід зазначити, що подібні коливання у швидкостях поздовжніх хвиль зразків дозволяють охарактеризувати даний інтервал як більш витриманий за своїми текстурно-структурним особливостям. Усі ці ознаки не стосуються трьох зразків даного інтервалу (зразки № 48, 50 та 53/1). Швидкість

поздовжньої хвилі в них за невеликого стиснення (0,1–100 МПа) значно зменшується, скоріш за все за рахунок порушення крихких мінералів і збільшення пористості, а за подальшого стиснення – швидко збільшується до початкових значень $V_{p \text{ атм}}$ за рахунок закриття мікротріщин. Швидкості $V_{p \text{ атм}}$ для інтервалу глибин 3261–3314 м свердловини № 110 змінюються від 3250 м/с до майже 4400 м/с, амплітуда їхньої зміни становить 1150 м/с. Це є значно меншим, ніж у попередніх двох розглянутих інтервалах (рис. 4, в). Окремо виділяється зразок № 110, значення V_p в якому є набагато меншим (змінюється від 2617 м/с до 3052 м/с), що проявилось, вірогідно, за рахунок літологічних і структурно-текстурних особливостей (збільшення у складі пісковика кількості глинистого та слюдиного матеріалу, збагачення однопідрізними лускатими зернами подовженої форми).

Загалом, за своїми пружними параметрами породи інтервалу більш витримані й характеризуються доволі плавною зміною V_p при збільшенні тиску та в умовах зняття напруги. Діапазон коливання $V_{p \text{ max}}$ за високих тисків становить 3750–4750 м/с, а при знятті напруги – 3450–4350 м/с. Зразків порід з різкими змінами швидкостей поздовжніх хвиль на відміну від попередніх інтервалів не виявлено.

На основі апріорних даних авторами розраховано температура і тиск, що присутні на глибинах відбору зразків свердловини № 110. За цими даними та за результатами досліджень зразків у різних баричних умовах розраховано значення швидкостей у пластових умовах ($V_{p \text{ пл}}$). Проведено порівняльний аналіз швидкостей поздовжніх хвиль, характерних для порід в атмосферних ($V_{p \text{ атм}}$) і пластових умовах ($V_{p \text{ пл}}$), побудовано тісну ($R^2 = 0,85$) кореляційну залежність розрахованих параметрів (рис. 5).

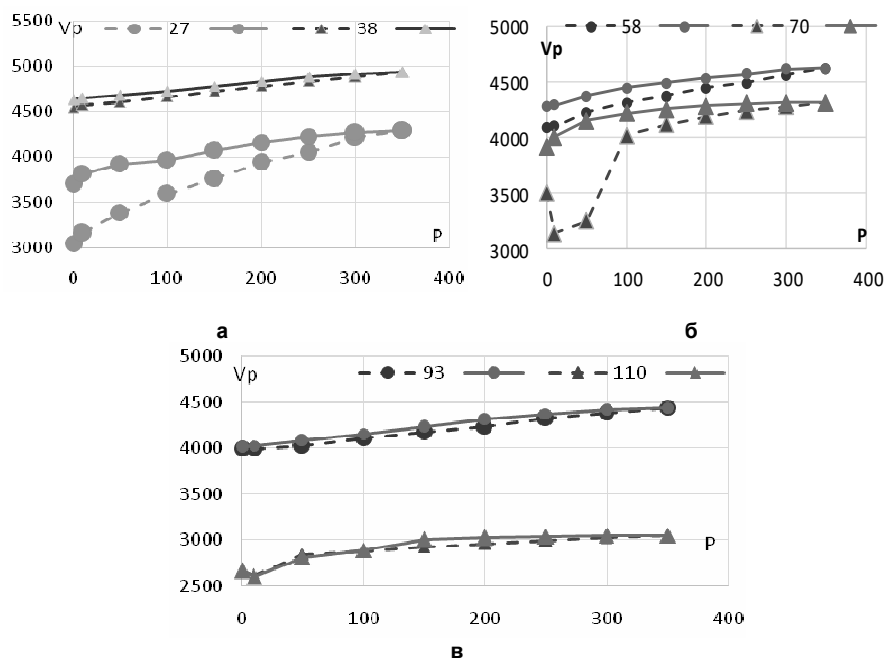


Рис. 4. Приклади зміни швидкостей поздовжніх хвиль вибірки зразків-пісковиків свердловини № 110 в умовах камери високого тиску для зразків інтервалів:

а – зразки № 27 та 38 (інтервал 3145–3158 м);

б – зразки № 58 та 70 (інтервал 3217–3228 м); в – зразки № 93 та 110 (інтервал 3261–3314 м)

Отримані результати можуть бути використані для математичного моделювання швидкостей поздовжніх хвиль та їхніх залежностей від пористості та густини по-

рід, характерних для порід в умовах природного залягання, інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин тощо.

Висновки Таким чином, авторами за допомогою установок "Керн-4" та високого тиску ВСЦ-1000 виконано дослідження швидкостей поздовжніх хвиль зразків порід свердловини № 110 Руновщинської площі, проведено аналіз отриманих даних і розраховано пластові значення швидкостей поздовжніх хвиль з метою адаптації

даних лабораторних петрофізичних досліджень до пластових умов.

За результатами петрофізичних досліджень в атмосферних умовах було виділено три вибірки порід-пісковиків, для яких було отримано тісні кореляційні залежності швидкостей пружних (переважно поздовжніх) хвиль від відкритої пористості та об'ємної густини.

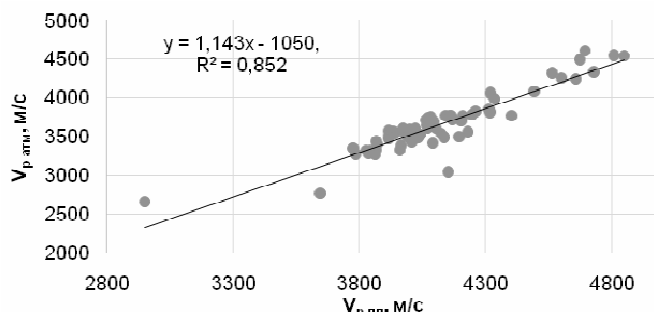


Рис. 5. Порівняльна характеристика швидкостей поздовжніх хвиль, характерних для порід в атмосферних і пластових умовах

При аналізі результатів акустичних досліджень в умовах змінних тисків для більшості зразків з досліджених інтервалів спостерігається поступове зростання швидкості поздовжньої хвилі зі збільшенням тиску до його максимального значення, за зворотного ходу – зменшення величини V_p за більш плавною траєкторією. Значення, що виміряні в атмосферних умовах, завжди менші за значення швидкості поздовжньої хвилі, отримані після зняття напруги, проте іноді спостерігаються досить відчутні коливання в їхній різниці, що можна пояснити різким (можливо, стрибкоподібним) закриттям мікротріщин у породі за збільшення тиску та їхнього уповільнене розкриття чи нерозкриття за його зменшення. Відповідні значення $V_{p \max}$, що відповідають умовам найвищого тиску, змінюються менш суттєво, їхній діапазон майже вдвічі менший, ніж для умов атмосферного тиску. Найбільш контрастні зміни в поведінці швидкостей поздовжньої хвилі характерні для окремих зразків (№ 27, 48, 50, 53/1), що, швидше за все, пояснюється характером закриття мікротріщин у породі можливо більшою кількістю тріщин порівняно з іншими зразками.

На основі апріорних даних і за результатами досліджень зразків за змінних тисків авторами розраховано значення швидкостей поздовжніх хвиль у пластових умовах, проведено їхній порівняльний аналіз зі швидкостями, характерними для порід в атмосферних умовах, побудовано тісну кореляційну залежність отриманих параметрів ($R^2 = 0,85$).

Для повного розуміння зміни акустичних властивостей в умовах природного залягання авторами планується вивчення їхньої структури пустотного простору та її зміни в зразках в умовах змінних тисків для окремих трьох виділених вибірок порід.

Список використаних джерел

- Баюк, І.О., Белобородов, Д.Е., Березина, І.А. і др. (2015). Сейсмоакустические исследования керн при пластовых условиях. *Технологии сейсморазведки*, 2, 36-45. doi:10.18303/1813-4254-2015-2-36-45
- Безродна, І.М. (2014). Оцінка структури пустотного простору карбонатних порід за результатами акустичних досліджень в умовах змінного тиску. *Науковий вісник НГУ*, 3, 21-25. Отримано з <http://nv.nmu.org.ua/index.php/uk/component/downloads/finish/41-03/656-2014-3-bezrodna/0>
- Вижва, С., Шинкаренко, А., Безродна, І., Щуров, І., Гафич, І., Солодкий, Є. (2014). Вплив змінного тиску на акустичні та емісійні властивості теригенних порід-колекторів (на прикладі зразків семирічківської площі). *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 76, 19-26. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.76.03>
- Вижва, С.А. та ін. (2014). Комплексні аналітичні лабораторні дослідження кернів із свердловин Руновщинської ділянки. *Науково-технічний звіт*. Корпорація "Науковий парк Київський університет імені Тараса Шевченка", Київ.

Орлов, Л.И., Топорков, В.Г., Жук, Е.Ф., Конькова, Л.В. (1981). Влияние термобарических условий на зависимости между интервальным временем, электрическим сопротивлением и пористостью пород нижнемеловых отложений Даулетабад-Донмезского месторождения. *Геология нефти и газа*, 9, 14-20.

Корчин, В. О., Буртний, П. О., Карнаухова, О. Є., Нех, О. С. (2010). Регіональні діагностичні петрофізичні особливості порід Антарктичного півострова (район станції Академік Вернадський). *Український антарктичний журнал*, 9, 23-31. Отримано з http://nbuv.gov.ua/UJRN/uazh_2010_9_4

Рябуха, В. В. (2007). Літолого-петрофізичні властивості теригенних порід-колекторів та їх вплив на геофізичні параметри (на прикладі родовищ нафти та газу центральної частини ДДЗ). Дис... канд. геол. наук: 04.00.22. Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка.

Федоришин, Д.Д., Гаранін, О.А., Федоришин, С.Д. (2014). Дослідження впливу хімічних реагентів, присутніх у фільтратах бурових розчинів, на електричні властивості гірських порід. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 3(52), 72-78.

Johnston, D.H., Toksoz, M. N. (1980). Ultrasonic P and S Wave Attenuation in Dry and Saturated Rocks Under Pressure. *Journal of geophysical research*, 85, B2, 925-936.

Kern, H., Popp, T., Gorbatshevich, F. et al. (2001). Pressure and temperature dependence of V_p and V_s in rocks from the superdeep well and from surface analogues at Kola and the nature of velocity anisotropy. *Tectonophysics*, 338, 113-134. doi: 10.1016/S0040-1951(01)00128-7

Pros, Z., Lokajicek, T., Klima, K. (1998). Laboratory Approach to the Study of Elastic Anisotropy on Rock Samples. *Pure and Applied Geophysics*, 151, 619-629. <https://doi.org/10.1007/s000240050133>

Yu, G., Vozoff, K., Durney, D. W. (1991). Technical Note Effects of Confining Pressure and Water Saturation on Ultrasonic Compressional Wave Velocities in Coals. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 28, 6, 515-522.

References

- Bayuk, I.O., Beloborodov, D.E., Berezina, I.A. et al. (2015). Elastic properties of core samples under confining pressure. *Tehnologii seysmorazvedki*, 2, 36-45. doi:10.18303/1813-4254-2015-2-36-45 [in Russian]
- Bezrodna, I.M. (2014). Evaluation of pore space structures of carbonate rocks by result of acoustic research under variable pressure. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3, 21-25. [in Ukrainian]
- Fedorishin, D.D., Garanin, O.A., Fedoryshyn, S.D. (2014) Investigation of the influence of chemical reagents present in the filtrate of drilling fluids on the electrical properties of rocks. *Exploration and development of oil and gas fields*, 3, 72-78. [in Ukrainian].
- Johnston, D.H., Toksoz, M. N. (1980). Ultrasonic P and S Wave Attenuation in Dry and Saturated Rocks Under Pressure. *Journal of geophysical research*, 85, 925-936.
- Kern, H., Popp, T., Gorbatshevich, F. et al. (2001). Pressure and temperature dependence of V_p and V_s in rocks from the superdeep well and from surface analogues at Kola and the nature of velocity anisotropy. *Tectonophysics*, 338, 113-134. doi: 10.1016/S0040-1951(01)00128-7
- Korchin, V.A., Burtny, P.A., Karnaukhova, E.E., Nech, A.S. (2010). Regional diagnostic petrophysical features of the Antarctic peninsula breeds (near the station "Akademik Vernadsky"). *Ukrainian Antarctic Journal*, 9, 23-31. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/uazh_2010_9_4 [in Ukrainian]
- Orlov, L.I., Toporkov, V.G., Zhuk, E.F., Konkova, L.V. (1981). The influence of thermobaric conditions upon relationship between interval time, electric resistance and porosity of Lower Cretaceous rocks in the Dauletabad-Donmez field. *Geology of oil and gas*, 8, 14-20 [in Russian]

Pros, Z., Lokajicek, T., Klima, K. (1998). Laboratory Approach to the Study of Elastic Anisotropy on Rock Samples. *Pure and Applied Geophysics*, 151, 619–629. <https://doi.org/10.1007/s000240050133>

Ryabuha, V. (2007). Litho-petrophysical properties of terrigenous reservoirs and their influence on geophysical parameters (for example, oil and gas fields of the central part of the DDZ). Dis. ... cand. geol. sciences: 04.00.22. Kyiv National Taras Shevchenko University. [in Ukrainian]

Vyzhva, S. et al. (2017). Complex analytical laboratory researches of core samples of Runovshchynska area wells. *Sciencereport.Science Park Kyiv Taras Shevchenko University, Kyiv*. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Shynkarenko, A., Bezrodna, I. et al. (2017). Influence of variable pressure on acoustic and Volumetric properties of terrigenous reservoir rocks (on the example of Semyrenkivska area samples). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 76, 19–26. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.76.03>. [in Ukrainian]

Yu, G., Vozoff, K., Durney, D. W. (1991). Technical Note Effects of Confining Pressure and Water Saturation on Ultrasonic Compressional Wave Velocities in Coals. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 28, 6, 515–522.

Надійшла до редколегії 27.04.19

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher;
S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

ANALYSIS OF ACOUSTIC PROPERTIES OF RESERVOIR ROCKS FROM RUNOVSHCHYNSKA FIELD ON THE BASIS OF PETROPHYSICAL STUDIES IN VARIOUS PRESSURE CONDITIONS

The results of rock physics study of 68 core samples from well No. 110 of the Runovshchynska field of the Dnipro-Donets depression in Ukraine are presented. Investigation of the P-waves on samples under different pressure conditions with the use of 'Kern-4' and high pressure VSC-1000 was performed. Analysis of the obtained data and calculated reservoir values of P-waves was performed.

The character of the change in velocity of P- and S-waves for atmospheric conditions is considered. It is shown that the predominant amount of water saturated samples has a velocity of P-waves 3200–3500 m/s (dry samples 2100–2550 m/s), and the S-wave velocity for saturated samples is 2100–2550 m/s (dry specimens 1400–1500 m/s).

For a collection of samples, which were measured in atmospheric conditions, the correlation dependence between velocities of P-waves and their density with a close correlation was established.

Correlation dependences between elastic wave velocities and the connected porosity of saturated samples were investigated. The dependences of type $V_p = f(K_p)$ with high correlation coefficient for three separate picks of the homotypic sandstones were established.

During the analysis of the acoustic studies results under conditions of variable pressure for the majority of samples from the studied intervals, the authors obtained the following common factors. The values of the P-wave velocity, measured in atmospheric conditions, are always smaller than the values obtained after the removal of the pressure; however, there are sometimes quite noticeable fluctuations in their difference, which can be explained by a sharp (possibly hopping) closure of microcracks in the rock with increasing pressure and their delayed opening or non-disclosure when it is reduced. The most contrasting changes in the behavior of the P-wave velocities are characteristic for several samples (Nos. 27, 48, 50, 53/1), which is most likely due to the void space structure in the rocks, possibly with an increased number of microcracks compared with other samples.

On the basis of a priori data and the results of researches of samples at variable pressures, the authors calculated the P-wave velocities in reservoir conditions, conducted their comparative analysis with velocities that are characteristic for samples in atmospheric conditions, built a tight ($R^2 = 0,85$) correlation dependence of the investigated parameters.

Keywords: rock physics study, conditions of variable pressures, Runovshchynska field.

И. Безродная, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.;
С. Выжва, д-р геол. наук, проф.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ РУНОВЩИНСЬКОЇ ПЛОЩАДИ НА ОСНОВЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЗНЫХ БАРИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Представлены результаты петроакустических исследований 68 образцов керна пород скважины № 110 Рунувщинської площі Дніпро-Донецької впадини України. Ісследование скоростей продольных волн образцов выполнено при переменных давлениях с помощью установок: "Керн-4" и высокого давления ВСЦ-1000. Проведен анализ полученных данных и рассчитаны пластовые значения скоростей продольных волн.

Рассмотрен характер изменения скоростей продольных и поперечных волн для атмосферных условий измерения. Показано, что подавляющее количество насыщенных минерализованной водой образцов имеют скорость продольной волны 3200–3500 м/с (для сухих образцов – 2100–2550 м/с), а скорость поперечной волны для насыщенных образцов составляет 2100–2550 м/с (для сухих образцов – 1400–1500 м/с).

Для коллекции образцов, измеренных в атмосферных условиях, установлена корреляционная зависимость скоростей продольных волн от их плотности с тесной корреляцией.

Исследованы корреляционные связи скоростей упругих волн и открытой пористости насыщенных образцов. Установлены зависимости $V_p = f(K_p)$ для трех отдельных выборок однотипных по составу песчаников.

При анализе результатов акустических исследований в условиях переменных давлений для большинства образцов из исследованных интервалов авторами установлены следующие закономерности. Значение V_p , измеренные в атмосферных условиях, всегда меньше скоростей, которые получены после снятия напряжения; однако иногда наблюдаются довольно ощутимые колебания в их разнице, что можно объяснить резким (возможно, скачкообразным) закрытием микротрещин в породе при увеличении давления и их замедленным раскрытием или нераскрытием при его уменьшении. Наиболее контрастные изменения в поведении скоростей продольной волны характерны для отдельных образцов (№ 27, 48, 50, 53/1), что, скорее всего, объясняется характером структуры пустотного пространства пород, возможным, увеличенным количеством микротрещин по сравнению с другими образцами.

На основе априорных данных и по результатам исследований образцов при переменных давлениях авторами рассчитаны значения скоростей продольных волн в пластовых условиях, произведен их сравнительный анализ со скоростями, которые характерны для пород в атмосферных условиях, получена тесная корреляционная зависимость ($R^2 = 0,85$) исследованных параметров.

Ключевые слова: петроакустические исследования, условия переменных давлений, Рунувщинська площа.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 32.001 (075.8)

О. Ткач, д-р політ. наук, проф.

E-mail: tio19@ukr.net

ORCID ID 0000-0003-3131-1533;

В. Цвих, д-р політ. наук, проф.

E-mail: volodymyrsvykh@gmail.com

ORCID ID 0000-0003-3106-7454;

М. Хилько, д-р філос. наук, проф.

E-mail: mykola.khylko@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-0295-5332;

О. Батрименко, д-р політ. наук, проф.

E-mail: batrymenko@bigmir.net

ORCID ID 0000-0003-0211-248X;

Д. Неліпа, д-р політ. наук, проф.

E-mail: nelipa_dv@ukr.net

ORCID ID 0000-0002-5363-3990

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Філософський ф-т, вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033, Україна

НАФТОГАЗОВИЙ ФАКТОР У ЗОВНІШНІЙ ПОЛІТИЦІ КРАЇН ЛАТИНСЬКОЇ АМЕРИКИ

(Рекомендовано членами редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим і д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвею)

Аналізуються сучасний стан і перспективи розвитку нафтогазового комплексу та його роль у зовнішній політиці латиноамериканських держав; політика з використання нафтових і газових багатств як інструмент посилення впливу в регіоні, а також функціонування багатосторонніх угод з постачання нафти. Розглядаються можливості реалізації спільних енергетичних проектів у Латинській Америці. Наявність нафти і газу в регіоні завжди використовувалася як політичний інструмент, серед 20 латиноамериканських країн є нетто-імпортери нафти і газу. У першій серії глобальних енергетичних оглядів IOGP розглядає Центральну і Південну Америку як один з найбільших у світі регіонів з видобутку нафти і газу. За станом на 2018 р. у регіоні була п'ята частина світових запасів нафти за даними статистичного огляду. Аналіз зроблено на основі інформації, отриманої від Асоціації компаній сектору нафти, газу та біопалива в Латинській Америці й Карибському басейні. Глобалізація енергетичних відносин змінила енергетичну політику й умови забезпечення енергетичної безпеки країн Латинської Америки. Інші країни та регіони визначили використання американського досвіду як пріоритет внутрішньої та зовнішньої політики. Природний газ, "золотий вік" якого проголосило Міжнародне енергетичне агентство, є найефективнішим, забезпечує мінімальні емісії шкідливих речовин, можливість гнучко регулювати потужність електростанцій на природному газі стає оптимальним вибором в енергосистемах, які використовували значну кількість відновлюваних джерел енергії. Поєднання цих якостей робить природний газ ідеальним "проміжним" паливом на шляху до беземісійної енергетики в країнах, що розвиваються. Нафтовий і газовий комплекс є одним з вирішальних елементів, які впливають на міжнародні відносини. "Енергетична дипломатія", міжнародне енергетичне співробітництво стають провідним напрямом у зовнішній політиці розвинених країн. Значення енергетичного (насамперед нафтогазового) фактора зростає у світовій політиці й визначає геополітику провідних світових держав і регіональних інтеграційних об'єднань держав Латинської Америки. Економічний розвиток країн пов'язаний зі зростанням рівня споживання енергетичних ресурсів, насамперед нафти і газу, зі стабільністю їхніх поставок у регіоні.

Ключові слова: нафтогазовий комплекс, нафта, енергетична політика США, енергетичні проекти, політичний інструмент, експорт нафти, націоналізація нафтової промисловості.

Постановка проблеми. Нафтогазовий фактор відіграє важливу роль у зовнішній політиці країн Латинської Америки. Латиноамериканський ринок енергоносіїв є досить привабливим для транснаціональних енергетичних компаній завдяки наявності величезних обсягів дешевих енергетичних ресурсів, споживчого ринку зі зростаючим попитом на енергоносії.

Аналіз публікацій за темою досліджень. В українській історіографії немає спеціальних монографічних або дисертаційних досліджень, присвячених комплексному дослідженню ролі нафтогазового фактора в зовнішній політиці нафтовидобувних латиноамериканських країн на нинішньому етапі діяльності, спрямованій на формування регіональної енергетичної безпеки. Науковий аналіз ролі нафтогазового комплексу в зовнішній політиці латиноамериканських країн на сучасному етапі розвитку міжнародних відносин має бути регулярним, усебічним і ґрунтуватися на широкій документальній базі. Ці проблеми аналізувалися у вітчизняних наукових працях М.Г. Земляного, Ю.О. Мазурця, С.М. Галаки, Г. Перепелиці. Крім того, істотну допомогу в процесі підготовки статті надали роботи, присвячені політичній та економічній загрозі суверенітету латиноамериканських держав з боку США. Це праці таких авторів, як Дж. Розенау, Е.-О. Чемпель, С. Вебер, К. Омае, С. Хоффман, Р. Кохен, Дж. Най, Л. Петтіфорд, Г. Віарда. Роль нафтогазового фактора в зовнішній політиці країн Латинської

Америки розглядалася в роботах українських дослідників лише фрагментарно. У зв'язку з цим існує необхідність узагальнити наявну суму знань з проблематики, зробити відповідні наукові висновки.

Метою дослідження є аналіз ролі нафтогазового фактора в зовнішній політиці країн-експортерів нафти Латинської Америки.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Актуальність вивчення стану і перспективи розвитку нафтогазового фактора та його ролі в зовнішній політиці латиноамериканських держав, впливу нафтової проблеми на міжнародні відносини, на зовнішню політику низки країн Латинської Америки обумовлена декількома основними причинами. По-перше, у сукупному енергобалансі країн Південної Америки частка нафти вище, ніж у більшості інших регіонів світу, що визначає залежність їхніх економік від внутрішніх і зовнішніх джерел вуглеводної сировини. По-друге, у процесі зміцнення державного суверенітету країн Латинської Америки протягом практично всього ХХ ст. особлива увага приділялася запровадженню національного контролю нафтової промисловості з метою забезпечення енергетичної безпеки й економічної незалежності. По-третє, асиметрична міжрегіональна система, що складалася у Західній півкулі, висуває нафтовий фактор практично на перше місце у взаєминах між "центром" і "периферією" даної системи, між США і державами

Латинської Америки. Це пов'язано з тим, що США, будучи найбільшим споживачем енергоресурсів на планеті, у другій половині ХХ ст. перейшли до категорії найбільших імпортерів нафти, що призвело до їхньої залежності від зовнішніх постачань ресурсів.

Основні результати дослідження. Стабільність піddenноамериканського напряму енергетичної дипломатії є в Латинській Америці важливим моментом у період ескалації конфліктів на Близькому Сході, підвищення ризику зриву нафтових постачань. Прагнення до досягнення такої стабільності є визначальним моментом для відносин з латиноамериканськими країнами.

Нафтогазовий комплекс є одним з вирішальних елементів, що впливає на міжнародні відносини. Нафтогазовий комплекс загалом включає: підприємства за видобутку вуглеводнів, зберігання, розподіл та постачання споживачам, транспортування, у тому числі транзиту нафти та газу, а також нафтопереробну промисловість та інші обслуговуючі галузі. "Енергетична дипломатія" та міжнародне енергетичне співробітництво перетворюються на важливий напрям зовнішньої політики розвинутих країн. Значення енергетичного, насамперед нафтогазового фактора зростає у світовій політиці. Це викликано тим, що економічний розвиток пов'язаний з ростом споживання енергетичних ресурсів, нафти і газу, зі стабільністю їхніх постачань. Енергетичний фактор визначає геополітику провідних світових держав і регіональних інтеграційних об'єднань держав. Потреба в енергії, основні джерела якої належать до непоновлюваних, буде збільшуватися в найближчі два десятиліття на 2 % щорічно, тобто світовий попит із 9 млрд тонн умовного нафтового еквівалента у 2000 р. зросте до понад 13 млрд тонн у 2020 р. При цьому близько двох третин попиту покриватиметься за рахунок нафти і газу. Саме тому контроль над районами нафтовидобутку має першорядне значення для промислово розвинутих країн. Цей факт поряд зі світовими тенденціями зростання цін на нафту і газ стає одним з вирішальних при оцінці конкурентоздатності держави (McElwee et al., 2018).

Американські нафтові корпорації, які освоювали нафтові багатства країн регіону в першій третині ХХ ст., інтенсивно експлуатували їхні природні ресурси. Латинська Америка перетворюється на сировинний придаток розвинутих капіталістичних країн, насамперед США, ринок збуту промислової продукції.

Бразилія випереджає Венесуелу як найбільшого виробника нафти в регіоні. Видобуток нафти в Центральній і Південній Америці перебуває на високому рівні – понад 7 млн барелів щоденно. Останній показник становить 7,5 млн барелів на добу. На сьогодні у видобутку нафти в Центральній і Південній Америці домінують дві країни: Венесуела і Бразилія. Традиційно Венесуела була найбільшим виробником у Південній Америці. Запаси нафти (18 % від світових запасів) перевищують запаси Саудівської Аравії. Але політична й економічна нестабільність позначається на виробництві. У 2005 р. добовий видобуток у Венесуелі становив 3,3 млн барелів. До 2016 р. він знизився до 2,4 млн барелів на добу. Оскільки виробництво у Венесуелі скоротилося, обсяг виробництва в Бразилії значно виріс із 1985 р. У 2016 р. щоденний видобуток у Бразилії становить 2,6 млн барелів, це дало їй 35 % регіональної частки, уперше зробивши її найбільшим виробником у Південній Америці. Стратегія "підтримки" щодо заявок на розвідку родовищ у Бразилії викликала інтерес міжнародних нафтових компаній у комплексі з розробкою нових офшорних технологій. Попит на нафту в регіоні має тенденцію до зростання. Сьогодні найбільша частка попиту в Центральній і Південній Америці припадає саме на Бразилію. Відносна

нестабільність економіки Венесуели відбивається на зменшенні частки загального попиту. Попит у регіоні збільшився у чотири рази з 1970 р. за виробничим показником "The global oil and gas industry trade" IOGP (PI). Показник виробництва IOGP (PI) для нафти заснований на поділі добового видобутку в тисячах барелів (або для газу – мільярдів кубометрів щорічно) на попит. ІП визначає рівень самозабезпечення регіону (експортний потенціал). ІП вище 100 % демонструє можливість експорту; нижче 100 % свідчить про необхідність імпорту. Попит та пропозиція вперше поєдналися у 1980-х рр., коли виникла загроза для становища Центральної й Південної Америки як експортера нафти. Згодом нові інвестиції в розвідку і видобуток, в основному в Бразилії і Колумбії, у сполученні з відновленням видобутку у Венесуелі виправили цю ситуацію. Центральна і Південна Америка знову стали вагомим експортером, генеруючи значні доходи для країн-експортерів, одночасно задовольняючи зростаючий попит своїх країн (Orihuela, 2011).

Попит на газ у регіоні різко зріс на 79 % із 2000 р. Це пов'язано зі збільшенням місцевих постачань, інвестиціями в нові розробки. Регіональний попит на газ у Центральній і Південній Америці збільшився у 12 разів із 1970 р. Аргентина лідирує в регіоні із споживання газу, на який доводиться 29 % попиту. Бразилія і Венесуела використовують по 21 % газу регіону.

Пабло Феррагут – менеджер проекту ARPEL визначив, що майбутнє за газом у Центральній і Південній Америці. "Існує чимало можливостей для розробки природного газу в Латинській Америці і Карибському басейні, багатому природними ресурсами регіоні. Є привід для більшого оптимізму. Недавнє збільшення видобутку в Болівії, Бразилії, Колумбії, Перу, а також відновлення видобутку газу в Аргентині є обнадійливим, оскільки сланцева формація Vaca Muerta є однією з найбільших у світі. Інвестиції в 5 млрд дол у 2017 р. мають допомогти поліпшити інфраструктуру, знизити виробничі витрати. Венесуела може змінити ситуацію, особливо якщо країні вдасться розробити недостатньо вивчену морську платформу. Основними проблемами є конкурентоспроможність сектору в глобальному сценарії з надлишком газу і розвиток внутрішнього попиту для підвищення привабливості інвестицій у видобуток. Прогрес у створенні привабливіших податкових і фіскальних режимів продовжує викликати інтерес у більшості країн-виробників регіону. Проблеми, пов'язані з розробкою газу, аналогічні проблемам, пов'язаним з нафтою: дотримання антикорупційних ініціатив, трудові витрати і суперечки між місцевими і національними органами влади про доступ до землі" (How much oil..., 2016).

Боротьба проти хижацького пограбування нафтових багатств, природних ресурсів, за зміцнення національного суверенітету призводить до націоналізації власності іноземних корпорацій. Латиноамериканські країни вибирають стратегію імпортозамісного виробництва. Націоналізація нафтової промисловості й створення державних нафтових компаній була спрямована на зміцнення позицій держави в нафтовій галузі й зменшення впливу іноземних компаній. Однак це не призвело до істотного збільшення "самостійності" і незалежності країн щодо використання національних багатств. Це пов'язано з тим, що основним споживачем латиноамериканської нафти були і залишаються США, які захищають "сферу національних інтересів".

Список країн з видобутку нафти за даними ОПЕК за 2016 р. заснований на оцінках, опублікованих у щорічному Статистичному Бюлетені 2017 (Annual Statistical Bulletin, 2017) Організації країн-експортерів нафти.

№	Країна	Тис. бар/день
1	Венесуела	2510,0
2	Бразилія	2372,5
3	Мексика	2153,5
4	Еквадор	549,0
5	Аргентина	511,7
6	Перу	40,3

Список країн з видобутку нафти, заснований на оцінках, опублікованих у щорічному Статистичному огляді світової енергетики 2017 (*BP Statistical Review of World Energy, 2017*) британської нафтогазової компанії BP.

№	Країна	Млн тон/рік	%
1	Бразилія	136,7	3,1
2	Венесуела	124,1	2,8
3	Мексика	121,4	2,8
4	Колумбія	48,8	1,1
5	Еквадор	29,3	0,7
6	Аргентина	28,8	0,7
7	Перу	5,6	0,1

Найбільша частка у світовому видобутку нафти за 2014 р. за даними ОПЕК дісталася Венесуелі – 3,7 % та Мексиці – 3,3 %.

Для багатьох країн Латинської Америки було характерним домінуюче ставлення держави в ролі власника в нафтогазовому секторі: державні компанії є в Бразилії, Венесуелі, Мексиці, Аргентині. Донедавна ці компанії мали не лише статус державних, але й національних, що означало, що вони були тісно інтегровані до системи державного управління та державних фінансів. У Мексиці й Бразилії державний статус національних нафтових компаній був навіть закріплений у конституціях. У Бразилії, Мексиці й Венесуелі держава має держвласність у нафтогазовому секторі і бере участь у його фінансуванні. Однак із середини 90-х рр. рівень участі був істотно зменшений, держава стала брати участь у нафтовій галузі лише побічно. Латиноамериканський ринок енергоносіїв є досить привабливим для транснаціональних енергетичних компаній завдяки наявності величезних обсягів дешевих енергетичних ресурсів, великого споживчого ринку зі зростаючим попитом на енергоносії, через прийняті національними урядами програм із залучення іноземних інвестицій. Країни Латинської Америки в процесі глобалізації активно включаються до процесу міжнародного енергетичного співробітництва, форми якого постійно еволюціонують і ускладнюються, але не завжди відповідають інтересам самих держав-енергопостачальників.

Можливості використання нафти як інструменту у відносинах з іншими країнами в регіоні постійно зростають. За винятком Центральної Америки і Карибського басейну Латинська Америка є регіоном, багатим на енергію. Вона має 10 % світових запасів нафти порівняно із 2,5 % у Північній Америці (без Мексики), 9,3 % в Африці, 8 % у країнах Східної Європи, 4 % в Азії та 1,6 % у Західній Європі. З газом ситуація не є такою хорошою, оскільки регіон має лише 4 % світових доведених запасів, однак його частка в споживанні перебуває нижче цього рівня (*Global Energy Brief...*, 2017).

Попит та пропозиції нафти і газу в регіоні істотно розрізняються. Хоч Венесуела має найбільш багаті ресурси серед країн Латинської Америки, Мексика, Колумбія, Еквадор і Тринідад і Тобаго також є експортерами нафти, тоді як Аргентина, Болівія і Бразилія мають обсяги, які є достатніми для задоволення потреб власного внутрішнього ринку. Перу перебуває на шляху до самозабезпечення. До переліку чистих імпортерів нафти входять Парагвай та Уругвай у Південній Америці, а також усі країни Центральної Америки і Карибського басейну, за винятком Тринідаду і Тобаго та Белізу. Куба, Гватемала і Барбадос також видобувають нафту, але обсяги не покривають їхні внутрішні потреби.

Так, Еквадор володіє 0,4 % світових запасів сирої нафти. Нафта має величезне значення для економіки, забезпечуючи понад 30 % експорту. За винятком Венесуели немає іншої економіки в регіоні, де нафта становила б таку значну частину експортної бази. Правда, державна корпорація Petroecuador (найбільша нафтова компанія в країні) постійно зазнає критики за ефективність роботи, оскільки обсяги її виробництва протягом останніх десяти років скорочуються. Через низькі ціни Еквадор отримав збитки. Рентабельність видобутку "чорного золота" зникла. Країна продає барель нафти сорту Oriente по 30 дол, а його видобуток обходиться в 39 дол, визначив президент Рафаель Корреа. Як відзначає Bloomberg, Еквадор входить до складу невеликих членів нафтового картелю ОПЕК. Котирування нафти Oriente становило 36,67 дол за барель. Еталонна північноморська нафта Brent торгувалася на рівні 43,27 дол. Нафтові сорти інших членів ОПЕК так само, як і Oriente коштують дешевше ніж Brent. Наприклад, Саудівська Аравія продає марки Arab Medium і Arab Heavy по 37 дол і 39 дол. Іракська Basrah Heavy коштує лише 34 дол. Незважаючи на ситуацію 2017 р., Саудівська Аравія, що фактично є лідером ОПЕК, не відреагувала на пропозиції про екстерене засідання організації, які надійшли від Алжиру, Лівії та Венесуели. Чергова зустріч представників ОПЕК може змінити ситуацію. В Ірані заявили, що готові продавати нафту за будь якою ціною, яка складеться на ринку. При цьому нафта марки WTI торгується на рівні 39,38 дол за барель, додавши в ціні 2,02 %. Подібно Венесуелі країна проводить досить агресивну політику стосовно іноземних інвестицій. Наслідком такої політики стали постійні судові розгляди з іноземними компаніями, що працюють у цій країні. Найгучніший скандал пов'язаний з рішенням уряду розірвати контракти з Occidental Petroleum, що добувала одну п'яту еквадорської нафти, була обвинувачена в незаконному продажі 40 % своїх акцій компанії Repsol-YPF. Водночас досить суперечливі пропозиції про реформи галузі містить, зокрема, пункт про те, щоб дозволити іноземним компаніям доступ до тендерних торгів для розробки родовищ із запасами понад 1 млрд барелів нафтового еквівалента (*Global Energy Brief...*, 2016).

Колумбія є нетто-експортером енергетичних ресурсів, на експорт ідуть значні обсяги нафти. Її запаси газу є достатніми для постачання західних регіонів Венесуели протягом семи років. Колумбія має величезні запаси високоякісного вугілля і багата гідроенергетичними ресурсами, що разом з газом дозволять їй бути важливим гравцем в енергетичному секторі, особливо в Центральній Америці й Мексиці. Разом із тим, колумбійська нафтова промисловість демонструє тривожні ознаки. Видобуток, що в 2000 р. становив 820 тис. барелів щоденно, різко скоротився до рівня 520 тис. барелів у період із 2004 по 2008 р. Виникали побоювання, що країна не зможе бути чистим експортером нафти приблизно з 2010 р. Це питання має велике значення, оскільки в період між 1996 і 2007 рр. на сиру нафту припадало 25,6 % від загального обсягу колумбійського експорту. У галузі забезпечення енергоресурсами Колумбія є незалежною країною. Вона є нетто-експортером нафти, газу, високоякісного вугілля і гідроенергетичних ресурсів. З огляду на різке падіння видобутку нафти і газу в останні роки Колумбія зосередила зусилля на стимулюванні свого енергетичного сектору шляхом скорочення податків і відрахувань до 50 % і реформи державної нафтогазової компанії Ecopetrol. Реформування Ecopetrol відбувалося в напрямку, схожому з перетвореннями Petrobras у Бразилії в 90-х рр. Колумбійський уряд передав функції регулювання галузі Національному агентству з вуглеводнів і оголосив приватизацію 20 % активів Ecopetrol. Мета трансформації – у стимулюванні інвестицій в розробку

нових родовищ, які ще не вивчені. Основними партнерами державної компанії в розвідці й освоєнні родовищ є Petrobras, British Gas і Occidental. З урахуванням нинішньої ситуації з газом у регіоні уряд Венесуели зацікавлений в співробітництві з Колумбією. Так, газопровід Transguajiro довжиною 330 км забезпечував Венесуелу постачанням газу до 2014 р. При цьому уряд Чавеса взяв на себе всі витрати. Розроблено ще один проект, відповідно до якого Венесуела зможе транспортувати сировину в порт Тихого океану для подальшого експорту до країн Південно-Східної Азії.

Мексика має один з найбільших резервів нафти серед країн Латинської Америки. На її частку припадає 1,4 % світових запасів, і вона використовує ресурс досить інтенсивно, здійснюючи 5 % світових поставок, тобто її частка в експорті вище, ніж у резервах. На Венесуелу, навпаки, припадає лише 3,9 % від світового виробництва, хоч вона володіє 6,8 % резервів. Оскільки рівень внутрішнього споживання в Мексиці досить високий, частка експорту сирої нафти в сумарному обсязі є невисокою: лише 9,5 % у період із 1996 по 2018 р. Аргентина і з деякими обмеженнями Болівія є самодостатніми у виробництві нафти. Починаючи з 2006 р. Бразилія також входить до цього переліку.

Аргентина володіє 0,3 % світових запасів сирої нафти і була нетто-експортером нафти. Із 1995 по 2008 р. аргентинський експорт сирої нафти становив 11,5 % в його загальному обсязі. Проте видобуток нафти в Аргентині не задовольняє зростаючий внутрішній попит, а це означає, що внесок нафти в торговельний баланс і далі буде скорочуватися. У середині 1990-х рр. Аргентина була визнана країною з великими можливостями для експорту газу. Згодом вона може виявитись у стані нетто-імпортера цієї сировини. Проте це відбудеться лише у випадку, якщо інвестиції в розвідку залишаться замороженими, оскільки країна має значні запаси газу.

У Болівії видобуток нафти у 2018 р. був еквівалентним її споживанню. Існуючий обсяг видобутку не дозволяє цілком покривати потреби, змушуючи імпортувати нафту в незначних обсягах. У період між 1996 і 2008 р. болівійський експорт нафти становив 3,9 % від його загального обсягу, а її закупівлі – 4,8 % усього імпорту. Одноразово, починаючи з 1998 р., збільшення видобутку газу зробило Болівію ключовим учасником регіонального ринку газу, якому призначено стати основним постачальником до Аргентини, на південь Бразилії та в Чилі, якщо в процес не втрутяться політичні фактори. Імпортерами нафти в Латинській Америці є Перу, Бразилія, Чилі, Парагвай та Уругвай, усі країни Центральної Америки і Карибського басейну за винятком Тринідаду і Тобаго та Бельізу. З приходом Ево Моралеса на посаду глави республіки в політиці Болівії визначилося два вектори: націоналізація нафтогазової галузі й перегляд експортних цін на газ. Прагнення до націоналізації нафти не є дивним, оскільки це було головним козирем Моралеса в передвиборчій боротьбі. Відображенням даної політики стали укази президента: про націоналізацію нафтових компаній у 180-денний період, про переукладання контрактів приватних компаній з державою, про забезпечення державного контролю і управління їхньою операційною діяльністю. Ці заходи супроводжувалися зміною часток у прибутках компаній, що працюють як спільні підприємства (82 % прибутку належить державі, 18 % – належить компаніям). Для компаній, що розробляють невеликі родовища, співвідношення визначено як 60 % на 40 %. Найбільше постраждали від цих дій іспанська Repsol-YPF і бразильська Petrobras. Заступник міністра вуглеводнів та енергетики Болівії В. Хоакін запропонував у 2018 р. нові ініціативи зі співробітництва в регіоні.

Бразилія володіє 0,9 % світових запасів сирої нафти. Вона задовольняє на дві третини потреби в природному газі за рахунок власного виробництва, інше імпортується з Болівії. Крім того, Бразилія володіє найбільшими в регіоні

запасами вугілля, майже вдвічі випереджаючи Колумбію. Бразилія також є світовим лідером у галузі виробництва етанолу. На неї разом зі США доводиться 70 % світових поставок палива. Уряд країни значно збільшив інвестиції в розвідку і видобуток, здійснювані компанією Petrobras. Це дозволило збільшити виробництво не лише нафти і газу, але також і етилового спирту, і вугілля, що є відображенням національної політики в галузі енергозабезпечення. Бразильський державний нафтогазовий гігант Petrobras повідомив про рекордний чистий збиток за підсумками четвертого кварталу 2018 р. в розмірі 36,9 млрд реалів (10,2 млрд дол) після списання вартості активів у зв'язку з різким зниженням цін на нафту. Загальна сума списань вартості активів та інвестицій становила 46,4 млрд реалів (12,8 млрд дол), в основному ідеться про сектор видобутку і розвідки. За підсумками року збиток Petrobras також став історичним – 34,8 млрд реалів (9,6 млрд дол). Бразильська компанія Petrobras виявилася у центрі корупційного скандалу в 2014 р., коли стало відомо, що функціонери підписували угоди й одержували за це комісійні в розмірі 3 % від суми контракту. Ці засоби надалі використовувалися для підкупів політиків і посадових осіб. За даними влади Бразилії, завищення цін і хабарів принесли авторам ідеї 3,8 млрд дол. У січні рада директорів Petrobras затвердила зміни в бізнес-плані на 2015–2019 рр., що припускає скорочення обсягу інвестицій на 24,5 % до 98,4 млрд дол (*Erfahrungen mit Ausschreibungen*, 2016).

Чилі має дефіцит енергії, оскільки виробляє 5 % від загального споживання нафти і покриває 20 % власних потреб у природному газі. У період між 1996 і 2008 р. експорт чилійських сирої нафти і газу становив 0,7 % у загальному обсязі експорту, а імпорт сирої нафти і похідних палив дорівнював 10,3 % від імпорту за той же період. Крім того, у період між 1997 і 2008 р. на Чилі припадало 25 % усього імпорту нафти в Південній Америці, що є величезним показником з огляду на розмір економіки країни.

Венесуела володіє 6,8 % від світових доведених запасів, тобто 80 млрд барелей, що ставить її на шосте місце у світі після Саудівської Аравії, РФ, Ірану, Іраку і Кувейту. Якщо додати запаси надродючої нафти, показник зростає до 270 млрд барелів, що відразу ставить Венесуелу на перше місце у світі з нафтових резервів. Однак виробництво важких сортів нафти є трудомістким, вимагає великих інвестицій протягом більш тривалих періодів часу, є менш вигідним, крім того, необхідні спеціальні НПЗ, оскільки суперважку венесуельську нафту не можна переробляти на НПЗ, призначених для переробки більш легких сортів. Хоч Венесуела і має величезні запаси, вона не має можливостей збільшити постачання сирої нафти. За експертними оцінками ЕКЛАК, ВВП Венесуели виріс на 17,9 % у 2007 р. Цей приріст фактично означає відновлення після різкого падіння в 2004–2006 рр. Дані за 2008 р. свідчать про зростання на 9,3 %. Однак збільшення ВВП відбувається не за рахунок зростання видобутку нафти, що за даними ОПЕК не досягло колишнього рівня через низький обсяг державних інвестицій у нафтовий сектор. Динаміка даного сектору буде залежати винятково від коливань світових цін, оскільки існують обмеження підвищення рівня виробництва.

Масштаби видобутку визначити важко з огляду на відсутність достовірних даних з PDVSA. Незважаючи на те, що державна компанія стверджує, що відновила рівень видобутку приблизно до 3,1 млн барелів у день, незалежні дослідження показують, що реальний показник становить 2,7 млн барелів. Венесуельська нафтова промисловість вимагає значних щорічних інвестицій, особливо в розробку нових родовищ, для того щоб, принаймні, зберегти свій нинішній рівень виробництва. PDVSA ще є далекою від досягнення мінімального рівня інвестицій. У період 2009–2012 р. вона планувала інвестувати

6,3 млрд дол за рахунок держави і ще 2,5 млрд дол приватних капіталовкладень. Незважаючи на офіційні дані, оцінки інвестиційної діяльності за 2008 р. свідчили, що реально було вкладено лише близько половини від заявленої цифри, тобто не більш 3,5 млрд дол. Можливість зростання приватних інвестицій також під сумнівом через невизначеність урядової політики стосовно іноземних інвестицій. З огляду на дану тенденцію можна припустити, що видобуток нафти у Венесуелі буде продовжувати падати або, у кращому випадку, не буде збільшуватися.

Рівень інвестицій PDVSA не можна порівнювати з державними нафтовими компаніями в інших країнах регіону. Наприклад, у 2007 р. Pemex (Мексика) інвестувала у два рази більше, ніж її венесуельська колега, а Petrobras (Бразилія) – на 150 % більше. У заявах представників бразильської державної нафтової компанії визначалося про плани інвестувати додатково 12 млрд дол. у період 2009–2012 рр., що в три рази перевищує дійсний рівень інвестицій PDVSA. Венесуела має найбільші запаси природного газу в Латинській Америці, однак вона не була зацікавленою в їхній розробці. Незважаючи на те, що запаси оцінюються в 4,2 трлн м³, було добуто не більше 40 млрд м³ газу. Крім того, значна частина газу, що вважається технічним, добувається разом із нафтою. Імовірно, що Венесуела стане ключовим експортером газу в Латинській Америці, однак на сьогодні її експортні обсяги є досить незначними. Про це свідчить її угода з Колумбією з будівництва газопроводу Transguajiro, що забезпечує прикордонні території країни. Венесуела розвиває газопровідну систему, що дозволить їй максимально усталити баланс усієї енергосистеми. У країні створено правову основу для видобутку газоподібних вуглеводнів (закон Ley de Hidrocarburos Gaseosos), і в 2000 р. була створена ENAGAS (національна газова корпорація). Венесуела видобуває легку, важку і надривну нафту. На ринку найбільш затребувані легкі сорти нафти, тоді як використання важких сортів є обмеженим. Крім того, транспортні витрати з перекачування важких сортів нафти є досить високими, що робить її часом нерентабельною. Тому позиції Венесуели вкрай уразливі, оскільки обмеженість ринків збуту змушує бути поступливішою у перемовинах зі США, особливо маючи рентабельність продажів. Нафтова політика Венесуели корегується у бік інвестицій у видобуток легших сортів нафти, що зводить її позиції на ринку стабільними. Актуальним стає і створення спільних підприємств з видобутку і переробки важких сортів нафти. У зв'язку з цим гостро стоїть питання про зміну законодавчої бази, зокрема з видобутку національних ресурсів нафтовими компаніями. У цій сфері існували проблеми юридичного характеру, що зазнавали критики з боку компанії регіону.

Головною проблемою регіону є дуже мала кількість розвіданих родовищ легкої нафти. Що стосується запасів важкої нафти, то вони є досить великими, однак на ринку нафти спостерігається зсув споживчого попиту на користь легших сортів. Цього вимагає необхідність змін енергетичної політики, зокрема Венесуели, на користь видобутку сортів легкої нафти і будівництва нових НПЗ, розрахованих на переробку такої нафти. Основним завданням Венесуели є диверсифікованість експортних поставок. Для вирішення складного питання необхідно інвестувати величезні гроші у видобуток і переробку. Венесуела не має можливостей самостійно винести таке фінансове навантаження і тому змушена шукати партнерів. Однак саме це і є досить проблематичним з огляду на політику держави, спрямовану на націоналізацію нафтогазової галузі. За цих умов PDVSA і венесуельський уряд намагаються створити спільні підприємства з державними нафтовими компаніями в країнах Південного

Конусу – Petrobras, ANCAP, Enarsa, ENAP з розвідки, видобутку і переробки на родовищах поясу Оріноко.

Дефіцит природного газу у двох найбільших країнах-імпортерів – Бразилії й Чилі становить 55 млн м³ щодобово. Для задоволення такого попиту необхідно інвестувати 23 млрд дол, що робить проект економічно недоцільним. Бразилія стверджує, що вона зможе цілком забезпечувати внутрішні потреби в газі, Аргентина здійснює програми використання ядерної енергії, що могло б значно скоротити її потреби в природному газі. Крім того, для задоволення внутрішніх потреб буде збільшений видобуток власних родовищ. Усе це призвело до того, що рішення про початок реалізації даного проекту заморожено доти, поки всі зацікавлені країни чітко не визначать контури власної енергетичної політики. Венесуела має найбільший рівень ризиків, оскільки економіка країни на 95 % залежить від природних ресурсів та їхнього продажу на експорт. Низькі ціни на нафту штовхають Венесуелу до дефолту, оскільки саме ця країна з усіх нафтовидобувних економік найменше підготовлена до падіння цін (Видання oilprice.com). Країна переживала складні часи навіть тоді, коли ціни на нафту були високими. Так, у Каракасі відбулися протести населення із застосуванням насильства, коли ціна перевищувала 100 дол за барель. Дослідники обвинувачували в поточних проблемах уряд Венесуели: "Недотепне управління країною не є новим явищем. Якщо ми перерахуємо ВВП на душу населення з урахуванням інфляції, то виявиться, що показник навіть на 2 % нижче, ніж це було в 1970 році". З різким падінням цін на нафту ситуація у Венесуелі ускладнилася. Відомі економісти Гарвардського університету Кармен Рейнхарт і Кеннет Рогов заявили, що Венесуелу очікує дефолт через падіння цін на нафту, коли ціна бареля нафти знизилася ще на 25 %. У 2018 р. Президент Ніколас Мадуро домовився з президентом Уругваю про створення "стратегічного союзу в нафтовій галузі" (*Political Database of the Americas, n.d.*).

Президентами Болівії, Уругваю, Парагваю і Венесуели розглядалося питання про будівництво газопроводу довжиною 6 тис. км, який почнеться у Тарихі (Болівія), пройде через Пуерто-Касадо (Парагвай) і закінчиться в Монтевідео. Оголошена вартість у 500 млн дол уявлялася заниженою. Уругвай є повністю залежним від імпорту нафтопродуктів у 2018 р. Державна нафтогазова компанія Венесуели (DVSA) та уругвайська державна нафтова компанія (ANCAP) оголосили про створення спільного підприємства з видобутку важкої й надривної нафти в поясі Оріноко, що забезпечило постачання до Уругваю на найближчі 25 років. Це означало б розширення і модернізацію НПЗ La Teja, що може переробляти такі сорти нафти. Венесуела запропонувала інвестувати в цей проект 200 млн дол. Унаслідок Уругвай одержує 67 % у майбутніх експортних контрактах, хоч і найдорожчий у світі бензин (1,36 дол). Міністр промисловості, енергетики та гірничорудної промисловості Уругваю Кароліна Коссе визначила необхідність реалізації проекту з будівництва регазифікованого терміналу в Уругваї. Після зустрічі з экс президентами країни Хуліо Марія Сенгуінетті, Луїс Альберто Лакальє, Хорхе Батльє та Хосе Мусіка у 2016 р. президент Уругваю Табаре Васкес представив новий законопроект про розвідку вуглеводнів у парламенті.

Роль нафтогазового фактора в зовнішній політиці в регіоні базується на таких угодах:

- Угода Хосе. Принаймні чверть століття країни Центральної Америки і Карибського басейну в реалізації міжнародного співробітництва стикаються з труднощами, викликаними відсутністю нафти, коли ціни на вуглеводну сировину зростають, ситуація погіршується. У серпні 1980 р. у Хосе (Коста-Ріка) між урядами Венесуели і Мексики була підписана угода, відповідно до якої кожна країна зобов'язалася постачати 80 тис. барелів

сирої нафти і нафтопродуктів щоденно до 11 держав регіону (Беліз, Коста-Рику, Сальвадор, Гватемалу, Гондурас, Нікарагуа, Панаму, Гаїті, Домініканську Республіку, Барбадос і Ямаїку) за світовими цінами, але з наданням кредитних ліній, що покривають від 20 до 25 % від загальної вартості палива. Угода щорічно пролонгується.

- Критика Венесуелою Угоди Хосе призвела до створення додаткової, Каракаської угоди в жовтні 2000 р. між Венесуелою і десятима країнами регіону (за винятком Ямайки) і гарантує щоденні постачання 80 тис. барелів нафти за світовими цінами, але за рахунок кредитування під 2 % річних терміном до 17 років. Найбільша частина дістається Домініканській Республіці (20 000 барелів у добу), а найменша квота Барбадосу і Белізу (1600 і 600 барелів відповідно).

- Угода з Petros Caribe. У 2005 р. Венесуела здійснила крок до створення організації Petros Caribe, до якої увійшли країни Карибського басейну, які не беруть участі в угодах: Антигуа і Барбуда, Багами, Гондурас, Гренада, Гайана, Сент-Кітс і Невіс, Сент-Люсія, Сент-Вінсент і Гренадіни, Суринам, а також Беліз, Ямайка і Домініканська Республіка, які були охоплені угодами. Паливо продається за субсидованими ринковими цінами. Учасники Petros Caribe одержують довгострокове фінансування, прив'язане до рівня світових цін, а саме: до 30 % за ціною понад 40 дол за барель; до 40 %, якщо витрати за барель 50 дол і до 50 %, якщо ціна перевищує 100 дол. Якщо ціни на сиру нафту залишаються нижче 40 дол, термін оплати і відсотки такі ж, як і в Каракаській угоді. Отримана за даною схемою нафта має бути використана лише на внутрішньому ринку і не може бути реекспортованою. Ця угода має дві риси: по-перше, створюється постійна організація зі штаб-квартирою в Каракасі, Рада міністрів і Виконавчий секретаріат. По-друге, засновується ALBA-карибський фонд для фінансування програм економічного і соціального розвитку з первісним внеском у розмірі 50 млн дол (Lessa and Sondergaard, 2019).

- Венесуельсько-кубинська угода є однією із секретних у міжнародній практиці. Політично ґрунтується на протидії політиці США, "антиімперіалістичній", "антиглобалізаційній" і "антинеоліберальній" риториці. Матеріальною основою цієї угоди є торгівля нафтою. Еріксон, Корралес, Фалькофф і Шифтер визначали особливості: Венесуела поставляє Кубі 90 тис. барелів у день за ціною із двох третин від ринкової вартості. Куба споживає 120 тис. барелів на добу, дві третини з яких вона виробляє. Таким чином, із 90 тис. барелів, що поставляються Венесуелою, 40 тис. використовуються для внутрішнього споживання, а 50 тис. реекспортується на світові ринки. Куба не лише одержує вигоду від використання субсидованої сировини для внутрішнього споживання, але також має можливість реекспорту. Така форма нагадує допомогу, надану СРСР у 70–80-ті рр., коли Радянський Союз субсидював постачання нафти на Кубу, що дозволяло Ф. Кастро продавати до 60 тис. барелів на добу на оптовому ринку. В обмін на "нафтову допомогу" Венесуела одержує від 30 до 50 тис. кубинських фахівців, особливо в галузі медицини, освіти і спорту, які допомагають урядові Венесуели виконати соціальні програми. Офіційно не підтверджено, що кубинці також робили консультаційні послуги з метою посилення військового потенціалу Венесуели. Масштаби цього обміну відображено в доповідях, наданих кубинським урядом, у яких визначається зростання рівня ВВП на 11,8 %.

Глобальний характер і політизація енергетичних проблем впливають на зовнішню політику країн, посилення ролі енергетичного фактора в міжнародній політиці. Тому інтерес являє собою аналіз ролі нафтогазового фактора на зовнішню політику країн-виробників і споживачів нафти. Латинська Америка є одним з основних

нафтоносних регіонів світу не лише щодо запасів, але й перспективних ресурсів.

Висновки. Визначено перспективи розвитку нафтогазового комплексу та його роль у зовнішній політиці латиноамериканських держав, політиці з використання нафтових і газових багатств як інструменту посилення впливу в регіоні, а також функціонування багатосторонніх угод з постачання нафти. Розглянуто можливості реалізації спільних енергетичних проєктів у Латинській Америці. Наявність нафти і газу в регіоні завжди використовувалася як політичний інструмент. У галузі енергоресурсів у Латинській Америці виділяються чотири країни: Венесуела – один із найбільших у світі експортерів нафти і впливовий член ОПЕК; Мексика, яка посідає 8-ме місце з видобутку нафти у світі; Аргентина – вивозить та імпортує нафту; Бразилія – прагне до самозабезпечення нафтою і до розв'язання проблеми енергопостачання у масштабі регіону.

Мексика і Венесуела є найбільшими нафтодобувачами й експортерами у світовому масштабі. Значна частина вуглеводнів постачається до США. Мексиканська нафта стала важливим аргументом для включення цієї країни до НАФТА. Венесуела використовує нафтовий фактор у процесі активізації й диверсифікації зовнішньополітичної діяльності держави.

Бразилія, Аргентина, Болівія, Еквадор, Перу і Колумбія є найбільшими регіональними добувачами сировини. Однак особливістю цих держав є те, що частина експортованої нафти не залишає межі латиноамериканського регіону і поставляється у найближчі держави. У цьому зв'язку важливо акцентувати увагу на проблемі регіональної енергетичної інтеграції з метою посилення ролі нафтогазового фактора в зовнішній політиці регіону.

Забезпечення стратегії діяльності на ринках вимагає аналізу наявних політичних ризиків. Для їхньої оцінки традиційно використовуються методики, розроблені американськими та європейськими консалтинговими фірмами. Процес подальшої глобалізації світового нафтового ринку ставить завдання вироблення інструментарію для оцінки політичних ризиків господарської діяльності конкретних суб'єктів галузей економіки, у тому числі й нафтогазовому комплексі.

Мігель Мойяно, директор з видобутку ARPEL, визначив, що "зміни в національній політиці більшості країн створюють справедливий податковий і фінансовий режими. Вони можуть залучити значні інвестиції від національних, регіональних і глобальних гравців у нафтогазовій промисловості. Основні галузі включають офшорну Бразилію і Гайану через Stabroek. Офшорний Суринам, який перебуває в стадії розвідки. Залишається потенціал у Венесуелі. Реалізація залежить від серйозних змін з боку уряду, щоб зробити країну привабливою для інвесторів. Завдання включають підтримку діалогу і співробітництва з урядами в межах стандартів антикорупційної відповідальності, матеріально-технічних витрат, проблем профспілок і неефективної координації між місцевими і національними органами влади щодо доступу до землі".

Список використаних джерел / References

- Annual Statistical Bulletin. (2017). Organization of the Petroleum Exporting Countries. Retrieved from https://www.opec.org/downloads/publications/ASB2017_13062017
- BP Statistical Review of World Energy. (2017). Retrieved from https://www.slideshare.net/BP_plc/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-76902409
- Erfahrungen mit Ausschreibungen für Windenergie in Brasilien. (2016). Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS). Retrieved from http://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/files/2016-09_iass-wp_bayer_ausschreibungen-windenergie-brasilien.pdf
- Global Energy Brief – Demand. (2017). Retrieved from <https://www.iogp.org/bookstore/product/geb-global-oil-and-gas-demand/>
- Global Energy Brief – Well safety. (2016). Retrieved from <https://www.iogp.org/bookstore/product/global-energy-brief-well-safety/>

How much oil and gas will the world need? (2016). Retrieved from <https://www.iogg.org/bookstore/product/how-much-more-oil-and-gas-will-the-world-need/>

Lessa A.C., Sondergaard, N. (2019). Brazilian Foreign Policy. Retrieved from <https://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo-9780199756223/obo-9780199756223-0266.xml>

McElwee, P.D., Fernandez-Llamazares, A., Thorpe, M.A., Whyte, K.P., Middleton, B.R., Reid K., Sy, W.C., Moldawer, A.M. (2018). Indigenous

ecologies. In Gibson, D. (Eds.) The Oxford Bibliography of Ecology. New York: Oxford University Press.

Orihuela, J. C. (2011). Environmental Policy and Politics in Latin America. Retrieved from <https://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo-9780199756223/obo-9780199756223-0021.xml>. DOI: 10.1093/obo/9780199756223-0021

Political Database of the Americas. (n.d.). Georgetown University. Retrieved from <http://pdba.georgetown.edu/>

Надійшла до редколегії 07.05.19

O. Tkach, Dr. Sci. (Polit.), Prof.

E-mail: tio19@ukr.net

ORCID ID 0000-0003-3131-1533;

V. Tsuykh, Dr. Sci. (Polit.), Prof.

E-mail: volodymyrtsyuykh@gmail.com

ORCID ID 0000-0003-3106-7454

M. Khylo, Dr. Sci. (Philos.), Prof.

E-mail: mykola.khylo@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-0295-5332

O. Batrymenko, Dr. Sci. (Polit.), Prof.

E-mail: batrymenko@bigmir.net

ORCID ID 0000-0003-0211-248X

D. Nelipa, Dr. Sci. (Polit.), Prof.

E-mail: nelipa_dv@ukr.net

ORCID ID 0000-0002-5363-3990

Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Faculty of Philosophy, 60, Volodymyrska Str., Kyiv, 01033, Ukraine

OIL AND GAS FACTOR IN THE FOREIGN POLICY OF LATIN AMERICA

Formulation of the problem. The authors analyze the current state and prospects for the development of the oil and gas complex and their role in the foreign policy of the Latin American states, policies of the use of oil and gas resources as a tool for enhancing influence in the region, as well as the functioning of multilateral oil supply agreements. The possibilities of realization of joint energy projects in Latin America are analyzed. The presence of oil and gas in the region has always been used as a political tool. The United States' reliance on Middle Eastern oil and the carbon emissions produced by the surging demand for fossil fuels in Asia tend to dominate discussions about the role of energy in U.S. foreign policy. But in recent years, the energy relationship between the United States and Latin America has perhaps become more important than other issues, as the largest share of the United States international trade and investment in the energy sector has occurred within the Western Hemisphere.

Purpose of the research is to study the role of the oil and gas complex in the foreign policy of Latin American countries. The oil and gas complex plays an important role in the foreign policy of Latin American countries. The Latin American energy market is quite attractive to transnational energy companies due to the huge volumes of cheap energy resources, the consumer market with growing energy demand. The energy markets of the Americas are deeply integrated. Despite the shale boom, which led to a sharp increase in U.S. oil production and a drop in imports, the United States still relies on Latin America for more than 30 percent of the oil it buys from abroad. The gas and gas complex part of the geological section is characterized by a similar lithological composition and the underlying rocks, containing oil and gas in industrial volumes.

Research methods: The following research methods were used to address the issues set in the article: general scientific methods – descriptive, hermeneutic-political, systemic, structural-functional, comparative, institutional-comparative; general logical methods – empirical, statistical, prognostic modeling and analysis; special methods of political science. The preference was given to the method of political-system analysis, by which the common and distinctive characteristics of the basic components of immigration policy strategies were identified, reflecting existing political, public, information and other challenges for international relations and global development.

The article of analysis. Latin America, a growing importer of U.S. natural gas and the largest market for U.S., makes refined petroleum products, such as gasoline. American oil companies and utilities are big investors in Argentina, Brazil, Mexico, and Venezuela, helping to develop the energy resources of all those countries. In Brazil, the United States direct investment in oil and gas extraction reached \$2,4 billion in 2015; in Mexico, the figure was \$420 million. Washington's financing and technical cooperation programs have further helped the development of new energy resources in the region. U.S. institutions and funds back up clean energy investments and provide regulatory and technical guidance to tap the region's shale fields.

Keywords: oil and gas factor, petroleum products, foreign policy, gasoline, World Energy policy, Latin America.

O. Ткач, д-р полит. наук, проф.

E-mail: tio19@ukr.net

ORCID ID 0000-0003-3131-1533;

B. Цвях, д-р полит. наук, проф.

E-mail: volodymyrtsyuykh@gmail.com

ORCID ID 0000-0003-3106-7454;

H. Хилько, д-р филос. наук, проф.

E-mail: mykola.khylo@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-0295-5332;

O. Батрименко, д-р полит. наук, проф.

E-mail: batrymenko@bigmir.net

ORCID ID 0000-0003-0211-248X;

D. Нелипа, д-р полит. наук, проф.

E-mail: nelipa_dv@ukr.net

ORCID ID 0000-0002-5363-3990

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
Философский ф-т, ул. Владимирская, 60, г. Киев, 01033, Украина

НЕФТЕГАЗОВЫЙ ФАКТОР ВО ВНЕШНЕЙ ПОЛИТИКЕ СТРАН ЛАТИНСКОЙ АМЕРИКИ

Анализируется роль нефтяного и газового комплекса стран Латинской Америки в мировой энергетике со времени энергетических кризисов. Произошедшие изменения, порожденные глобализацией энергетических отношений, за неполное десятилетие опровергли все предыдущие прогнозы относительно дальнейшей роли энергетических ресурсов в международных отношениях и динамики взаимодействия традиционных экспортеров и импортеров сырья. Глобализация энергетических отношений изменила энергетическую политику и условия обеспечения энергетической безопасности стран Латинской Америки. Другие страны и регионы сделали повторение американского опыта одним из приоритетов своих внутренних и внешних политик. Природный газ, "золотой век" которого провозгласило Международное энергетическое агентство, является самым эффективным и в то же время обеспечивающим минимальные эмиссии вредных веществ и парниковых газов ископаемым топливом. Возможность гибко регулировать мощность электростанций на природном газе делает их оптимальным выбором в энергосистемах, использующих большое количество возобновляющих источников энергии, которым присуща переменная мощность. Сочетание этих качеств делает природный газ идеальным "промежуточным" топливом на пути к безэмиссионной энергетике в развитых и развивающихся странах. Нефтяной и газовый комплекс остается одним из решающих элементов, влияющих на международные отношения. "Энергетическая дипломатия", международное энергетическое сотрудничество превращаются в важное направление во внешней политике развитых стран. Значение энергетического (прежде всего нефтегазового) комплекса возрастает в мировой политике, определяет геополитику ведущих мировых держав и региональных интеграционных объединений государств Латинской Америки. Экономическое развитие связано с ростом потребления энергетических ресурсов, прежде всего нефти и газа, со стабильностью их поставок в регионе.

Ключевые слова: нефтегазовый комплекс, нефть, энергетическая политика, энергетические проекты, политический инструмент, экспорт нефти, национализация нефтегазовой промышленности.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

UDC 631.413.2:546.73(477)

V. Mank¹, Dr. Sci. (Chem.), Prof.
 O. Tonkha², Dr. Sci. (Agri.), Prof., Dean,
 E-mail: oksana16095@gmail.com
 V. Galimova², PhD (Chem.), Assoc. Prof.
 S. Surovtsev³, Dr. Sci. (Tech.)
 O. Menshov⁴, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher,
 E-mail: menshov.o@ukr.net
 O. Bukova⁵, Head of the laboratory
 I. Rogovskiy², PhD(Tech.), Senior Researcher
¹National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine;
²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
³International Research and Training Center for Information Technologies and Systems
 of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
⁴Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology
 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;
⁵LLC Lotivka Elit, Khmelnytsky, Ukraine

ELECTROCHEMICAL INVESTIGATION OF COBALT ABSORPTION PROCESSES
BY SOILS OF UKRAINE

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

In this paper, the processes of cobalt absorption by soils of Ukraine are investigated by using the electrochemical method of pulsed inversion chronopotentiometry. It has been established that the absorption capacity of cobalt by soil varieties from complexing media is 64–98 %. In solutions of KNO_3 , NH_4OH and CSN_2H_4 mobile compounds of cobalt are part of $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})\text{n}]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)\text{n}]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{CSN}_2\text{H}_4)\text{n}]^{2+}$, and in solutions of $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ and EDTA^{4-} anionic complexes $[\text{Co}(\text{P}_2\text{O}_7)\text{n}]^{2-4n}$, $[\text{Co}(\text{P}_3\text{O}_{10})\text{n}]^{2-5n}$, $[\text{CoEDTA}]^{2-}$ are formed. The cobalt cationic complexes $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})\text{n}]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)\text{n}]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{CSN}_2\text{H}_4)\text{n}]^{2+}$ are almost completely absorbed by the soils. Anionic complexes – $[\text{Co}(\text{P}_2\text{O}_7)\text{n}]^{2-4n}$, $[\text{Co}(\text{P}_3\text{O}_{10})\text{n}]^{2-5n}$ and $[\text{CoEDTA}]^{2-}$ largely remain mobile in the soil profile. The sorption effect depends on the charge of the complex ions, their strength and on the steric parameters of the complex ions. A close positive relationship was established between the cobalt absorption by soils and the cation exchange capacity of soils, the correlation coefficient was 0,7976, and between the cobalt absorption by soils and the humus content (0,7034). In the study of biohumus, it was found that cobalt goes into the solution of 0,02M $\text{EDTANa}_2 + 0,09\text{M NH}_4\text{Cl}$ by the mechanism of competitive complexation, its transition to the HCl solution occurs due to the protonization of the functional groups of biohumus with which the metal is bound. Biohumus has rather high sorption properties of cobalt and may be promising for its use as an effective carrier matrix in various combinations with basic fertilizers. Isotherms of sorption or exchange of cobalt for exchange ions of biohumus in various solutions correspond to isotherms of Langmuir single layer adsorption. The method of IHP analysis is important to use to control the content of trace elements at the level of their trace concentrations necessary for plant development.

Keywords: Available content of cobalt, sorption processes, biohumus, cation exchange capacity, electrochemical pulsed method.

Introduction. The content of cobalt in soils is influenced by natural and anthropogenic factors. Natural factors include the geology of the territory, the age of soils, climatic conditions, the expansion of the organic fraction of the soil, wind erosion, which result in the distribution of minerals and atmospheric deposition of dust, which includes cobalt. Among anthropogenic human activities, which generally affect the local concentrations of Co in the soil, there is widespread agricultural use of lands and associated chemistry, the use of sewage sludge in the fields as fertilizers, the use of cobalt salts as a feed supplement for bovine animals, as well as air transport (Albanese et al., 2015; Collins and Kinsela, 2010; Perez-Espinosa et al., 2005; Tonkha and Dzyazko, 2014; Tonkha et al., 2018). The average concentration of Co in soils in Europe is 1–20 mg/kg dry weight, in the soil of Ukraine of 0,15–0,86 mg/kg of soil. The part of land in Ukraine, which has very high content of mobile cobalt compounds, is 47,5 % (7,9 million hectares), an average content of cobalt is in 21,8 % of land area, and low content – 9 % (1,5 million hectares) (Collins and Kinsela, 2010).

Cobalt is found in soils in various compounds, the degree of availability of which for plants is different (Albanese et al., 2015). The soluble salts of cobalt, deposited in the soil, can be fixed due to the formation of insoluble oxides, sulfides, phosphates, carbonates, etc. This leads to the fact that optimal standards for cobalt fertilizers may be inadequate in crop nutrition. The effectiveness of using complex and complex mixed fertilizers containing Co depends largely on the mobility of cobalt compounds and the stability of soil consolidation.

Concentration of cobalt in soils depends on the soil reaction (pH), the content of organic matter, clay and the cation exchange capacity (Копилевичидр., 2015). Since cobalt forms persistent carbonate and hydroxydic minerals that are insoluble in water, most cobalt forms in the soil are not biologically available to plants (Perez-Espinosa et al., 2005), which adversely affects their development. Therefore, there is a need to add cobalt-containing fertilizers to the soil to ensure the full development of plants. The present experience of applying the geospatial methods for soil studying (Pereira et al., 2017) confirmed the requirements of the application of fast geophysical technologies. Soil magnetic properties have relation to the pH, organic matter content, and erosion index (Menshov et al., 2018). Co as a ferromagnetic material can be easily detected with thermomagnetic measurements (Menshov, 2016).

At present, in agrochemical practice, trace elements, integrated in complex compounds, are used. So, the use of chelators of polyethylenepolyamineacetic acid has allowed achieving success in the fight against lime chlorosis of plants (Collins and Kinsela, 2010). The paper (Perez-Espinosa et al., 2005) shows a sharp increase in the flow of the trace element Co to the plants of vicia and oats due to high mobility of $[\text{CoEDTA}]^{2-}$ in the soil profile. Pre-sowing treatment of corn, sugar beet, cotton seeds with ammoniacal complexes of Co and Mn gave significant increasing in crop yields (Tonkha and Dzyazko, 2014).

At present, microfertilizers are used – $\text{Co}(\text{NH}_2)_2$, as well as fertilizers based on polyphosphates, phosphonitrile, phosphamide, and others. They have complex-forming ability. The study of their interaction with Co^{2+} ions is of considerable interest, since complex ions of cobalt,

depending on their nature, strength and stereochemical characteristics, varying degrees of oxidation, have different mobility in the soil profile and availability to plants. Chelates formation with organic polydentant ligands to a certain extent simulates many natural processes. Complexes of this type are fairly stable and can be used as self-contained microfertilizers or in combination with macro-components. Therefore, it is important to study the absorption of cobalt from different fertilizers by different types of soils.

Material and methods. To determine the cobalt in soil samples, the most easy-to-use, high-precision new electrochemical method of impulse inversion chronopotentiometry (IChP) (*Palanytsia et al., 2014*) using the improved analyzer of heavy metal salts "M-XA1000-5" was used, the principle of which is based on the basic method of inversion chronopotentiometry (IChP method) (*Surovtsev et al., 2007*). The theoretical foundations of the method and the main criterion equation of IChP are presented in (*Копилевич та ін., 2012*). Measurement of cobalt content in soils was carried out in accordance with the methodology developed and approved by Ukrmetrteststandard (*Копилевичидр., 2015*).

Immediately before the measurement of cobalt, a background electrolyte was prepared, consisting of a solution A: (2M HCl + 0,1M NaSCN + 0,4M Na₂SO₃) and solution B: (4M NH₄OH) in the ratio A:B = 3 : 2. In

measurements, a 2-electrode electrochemical cell with an indicator golden solid-state electrode was used. Its working surface was sanded with calcium sulfate chemically deposited, thoroughly washed with bidistilled water. As a comparison electrode, a chloride electrode was used, which was filled with a solution of 2M HCl.

Measurement of Co (II) concentrations in soil samples was carried out using standard additives in the concentration range of 1,0; 0,1; 0,01 and 0,001 µg/cm³. Graduating solutions at a concentration of 10.0 1.0 and 0,1 µg/cm³ were prepared by diluting standard solutions of Co (II) (MSO 0137 : 2000, DSA 022.78-98). The electrolysis potential of Co on a gold electrode is in the range -1,400 ÷ -10000 V.

As an example (table 1), the results of measuring the concentration of Co (II) in model solutions of different concentration ranges are given. It has been established that the method of determining the concentration of Co (II) by impulse inversion chronopotentiometry method according to the developed method can be used in a wide range of concentrations from 0,001 to 1,0 mg/dm³ with high accuracy.

The results of measurement of the Co(II) mass in the soil sample by the IICP method and atomic absorption analysis, the relative error of measurements, depending on the concentration, varies from 2 to 18 % (Table 2).

Table 1

Measurement errors for Co (II) concentrations in model solutions (n = 5; P = 0.95)		
Parameters of measurements		Co (II), determined by the results of measurements, mg/dm ³
Indicator	Concentration of Co (II) in solution, mg/dm ³	
The specified and measured concentration of Co (II) in the model solution, µg/cm ³	1,0	0,98±0,08
	0,1	0,093±0,006
	0,01	0,0089±0,0005
	0,001	0,00082±0,0001
Relative measurement error, %		2,0-18,0

Table 2

Comparison of the results of the measurement of Co (II) content in sod-podzolic soil by different analytical methods, mg/kg (n = 5; P = 0,95)								
Ion	IChP Method				Atomic-Absorbion Analysis			
	test 1	test 2	test 3	average value	test 1	test 2	test 3	average value
Co ²⁺	1,28	1,21	1,18	1,223 ± 0,002	1,31	1,24	1,16	1,236 ± 0,004

As a result of the studies, a sufficient level of coincidence of the results of measuring the concentration of cobalt in soil samples obtained by different methods of analysis has been established. The obtained data will satisfy the satisfactory accuracy and reproducibility of the results of the determination of cobalt under the proposed conditions, while the lower limit of determination of the element according to the developed method is set at the level of $1 \cdot 10^{-3}$ µg/dm³. For studies of the absorption of cobalt by different types of soils from complex-forming environments the soil samples from a layer of 0–30 cm were taken.

In the first series of studies, aqueous solutions of KNO₃, NH₄OH and (CSN₂H₄) were prepared, which are used as ligands in agrochemical practice. The experiments were carried out according to the following method: 10 g of air-dry soil was filled with 60 ml of a solution containing Co in the amount of 70 µg (at the rate of 7 mg/kg soil) and the corresponding ligand.

The mixture was shaken on a rotator for 1 hour and filtered through a folded filter. The filtrate was determined content of Co. Analysis of Co from solutions containing KNO₃, NH₄OH and (CSN₂H₄) was performed using a new method of impulsed inversion chronopotentiometry (*Копилевичидр., 2015; Карнаухов та ін., 2000*).

In the second series of studies, there were prepared solutions of polyphosphates Na₄P₂O₇, Na₅P₃O₁₀ and Trilon B

(disodium salt of ethylenediaminetetraacetic acid) as a universal organic complexone. Since the polyphosphate and trilonate complexes of Co do not regenerate on the electrode in the favorable potential range (up to -2,0 V), a special method of their analysis was developed. The method is the following: from 20 ml of a polyphosphate solution Co was extracted by 20 ml of dithizone in CCl₄ solution during 5 minutes at a pH of 8,8 (control with using a pH-meter "pH-150M").

The extract was washed with 10 ml of water to remove completely the phosphates and then the samples were evaporated on a plate in glasses to the state of wet salts. The wet residue was mineralized by adding 1 ml of conc. HNO₃, 1 ml of 30 % H₂O₂ and 1 ml of conc. H₂SO₄. The contents were heated until sulfuric acid vapor appeared and then 1 ml of H₂O₂ was added again. Trilonate solutions were burnt in a muffle furnace without prior treatment with concentrated acid solutions. The residue was dissolved in 2 M NH₄OH and Co was determined by the IChP method (*Kopilevich et al., 2015*) using a gold solid electrode.

In the third series of studies, 100 g of biohumus was saturated with cobalt ions with an active contact of 0,5 M Co(NO₃)₂ solution for 48 hours. The solid phase was filtered, washed until negative reaction on NO₃⁻ ion, dried on the air. The obtained samples were used to study the extraction of cobalt ions from biohumus by solutions of 1M CaCl₂; 1M CH₃COONH₄; 1M HCl; 0,02M EDTANa₂ + 0,09M NH₄Cl,

which are widespread in agrochemical practice for diagnostics of the movable cobalt forms in soil. Ratio solid phase: extractant was 1 : 10 by volume.

In the fourth series, the biogumus was previously saturated by calcium ions. 100 g of biogumus were treated with 1M solution of CaCl_2 at shaking, filtered; the solid phase was washed with distilled water to negative reaction on calcium ions and dried in air. The obtained calcium-

biohumus was used to study the specific adsorption of Co by humus in a solution of 0,01 M CaCl_2 . The experiments were carried out according to the regulations, as in the system: biohumus – 0,01M CaCl_2 – Co^{2+} .

Results and discussion. As a result of the experiments carried out by the above methods, the percentages of absorbed Co by various soils (table 3) from various complexing media (table 4) were calculated.

Table 3

Basic physical and chemical properties of the studied soils (n = 5; P = 0,95)

No	Soil	Soil reaction, pH (H_2O), %	Humus content, %	Cation exchange capacity, mmol/100 g soil
1	Chernozemic-Meadow medium loamy	7,8±0,2	4,75±0,15	27,1±0,4
2	Sod-Podzolic light loamy	5,1±0,15	1,95±0,11	9,4±0,3
3	Dark-Chestnut sodisity affected heavy loamy	8,6±0,3	5,15±0,12	25,8±0,2
4	Meadow sodisity affected medium loamy	7,6±0,2	4,98±0,16	27,3±0,4
5	Dark-Grey Podzolized light loamy	5,9±0,2	2,98±0,2	14,9±0,2
6	Sodic crust solonets heavy loamy	8,8±0,3	2,12±0,11	8,8±0,2
7	Chernozem Southern low-humus heavy loamy	8,0±0,2	4,12±0,09	31,8±0,2
8	Grey Podzolized light loamy	5,4±0,15	2,58±0,11	11,8±0,3
9	Chernozem Podzolized medium loamy	6,8±0,15	3,78±0,11	21,8±0,2
10	Chernozem Halpic medium loamy	6,6±0,15	4,18±0,09	29,8±0,2

Table 4

Absorption of Co by soils from different complexing media

No	Soil	1M KNO_3 pH 7,9, %	1M NH_4OH pH 11,8, %	1 M CSN_2H_4 pH 7,6, %	0,15 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ pH 9,2, %	0,25M $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ pH 8,6, %	0,1 M EDTA pH 4,5, %
1	Chernozemic-Meadow medium loamy	97,7	92,7	83,6	58,0	50,7	4,8
2	Sod-Podzolic light loamy	79,0	67,0	80,8	65,0	29,3	1,2
3	Dark-Chestnut sodisity affected heavy loamy	93,6	80,6	85,3	20,5	14,2	2,8
4	Meadow sodisity affected medium loamy	97,6	95,7	89,8	62,5	62,5	7,5
5	Dark-Grey Podzolized light loamy	89,7	92,6	95,5	51,3	43,6	6,9
6	Sodic crust solonets heavy loamy	88,1	97,9	89,5	48,1	43,0	4,8
7	Chernozem Southern low-humus heavy loamy	98,0	88,0	88,6	50,0	15,5	3,1
8	Grey Podzolized light loamy	82,7	64,4	70,1	37,0	9,8	6,5
9	Chernozem Podzolized medium loamy	97,3	93,5	82,1	58,4	55,0	4,8
10	Chernozem Halpic medium loamy	97,3	96,9	82,1	54,7	39,2	1,9

In solutions of KNO_3 , NH_4OH and CSN_2H_4 , cobalt is a part of the complex cations $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{CSN}_2\text{H}_4)_n]^{2+}$, and in solutions of $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ and EDTA^{4-} anionic complexes $[\text{Co}(\text{P}_2\text{O}_7)_n]^{2-4n}$, $[\text{Co}(\text{P}_3\text{O}_{10})_n]^{2-5n}$ i $[\text{CoEDTA}]^{2-}$ are formed. The complexity of Co in all cases is close to 100 %. The absorption capacity with different soil types from the complexing environments was 64–98 %. Chernozem has 18–28 % more absorption of Co then Sod-Podzolic.

A high percentage of absorption of complex cations can be explained mainly by the cationic type of the soil absorbing complex of the main types of soils of Ukraine. With an increase in the size of ligands in the series $\text{H}_2\text{O} < \text{NH}_3 < \text{CSN}_2\text{H}_4$, the sizes of complex ions increase and, regardless of the soil specificity, the sorption effect decreases. Between the cation exchange capacity of soils and the absorption

capacity of cobalt a close positive correlation was established, the correlation coefficient was 0,7976 (fig. 1).

Also, the absorption capacity depended on the content of humus in the soil, with the increase of soil humus content more mobile compounds of cobalt were found in the soil, the correlation coefficient was 0,7034 (fig. 2).

In the case of cobalt-containing complexes of anionic character, the sorption effect is a function of the strength of complex ions. Pyrophosphate complexes (pK = 6,1–7,2) and tripolyphosphate complexes (pK = 6,6–6,89) (Карнаухов та ін., 2000) are sorbed by soils much more than trilonate, which is in accordance with high strength of $[\text{CoEDTA}]^{2-}$ (pK = 16,1) (Копілевич та ін., 2012).

At the results of the experimentseries 3, an assessment of the possibilities of biohumus as a carrier matrix of cobalt was carried out (table 5).

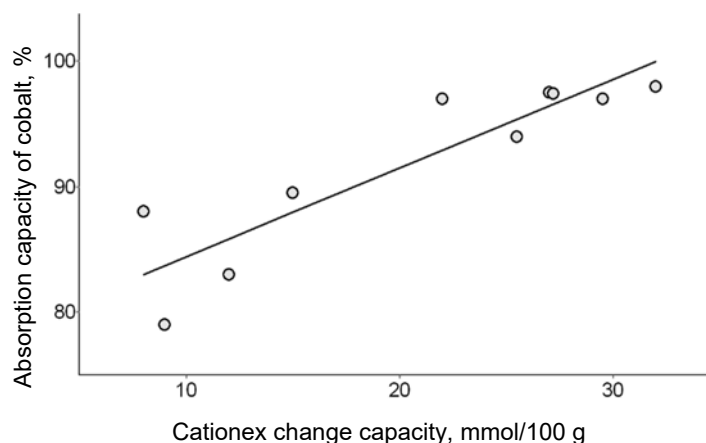


Fig. 1. Dependence of the absorption capacity of mobile compounds of cobalt by soils from cation exchange capacity of soils

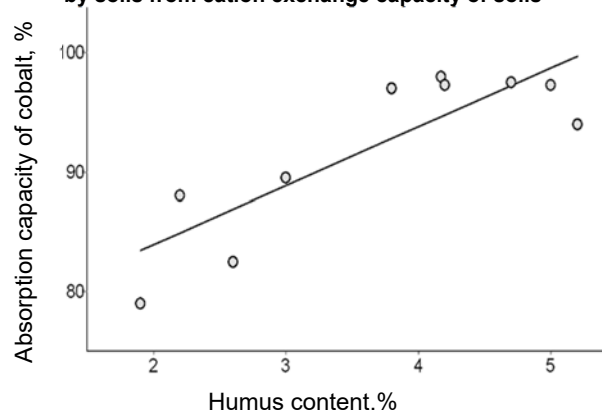


Fig. 2. Dependence of the absorption capacity of mobile compounds of cobalt by soils on the content of humus

Table 5

The amount of cobalt that has been converted into solution from biohumus (n = 5; P = 0,95)

Extractant	The amount of cobalt that has been converted into solution from biohumus, g/kg
1H CaCl ₂	4,25
1M CH ₃ COONH ₄	8,35
1M HCl	22,50
0,02M EDTA Na ₂ + 0,09M NH ₄ Cl	16,18

In experiment 4, an analysis of isotherms of sorption or exchange of Co²⁺ on exchangeable ions of biohumus in the various solutions that are given in fig. 3, which correspond to the isomers of the Langmuir monolayer adsorption, and hence are described by the equation:

$$a = \frac{a_m C}{A + C}, \quad (1)$$

where a , a_m – current and maximum adsorption of cobalt by a biohumus; A – energy constant; C – the equilibrium concentration of Co²⁺ in the solution.

From the fig. 4 it is seen that the assumption of the Langmuir character of adsorption is well established. Thus, there is a high affinity of the Co²⁺ ions to biohumus both in its initial polyionic form and in the saturated by Ca²⁺ ions form. The growth of adsorption of Co²⁺ in a number of colloidal solutions of biohumus Ca – 0,01M CaCl₂ < biohumus – 0,01M CaCl₂ < biohumus – 0,03M NaCl due to the greater ability of these ions to exchange on monovalent sodium ions than on two-valent ions.

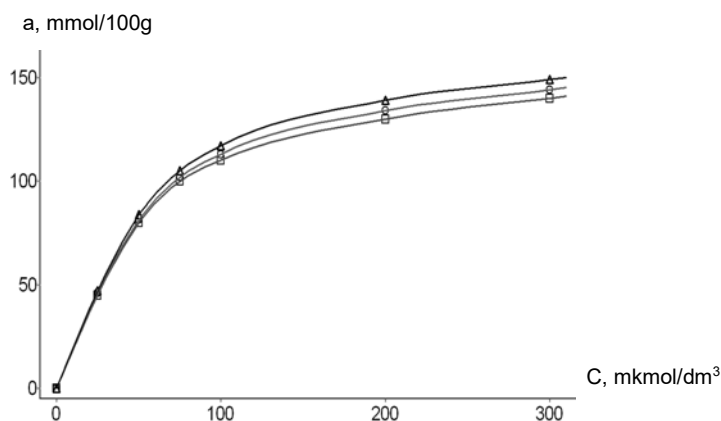


Fig 3. Isotherms of cobalt sorption in the systems:

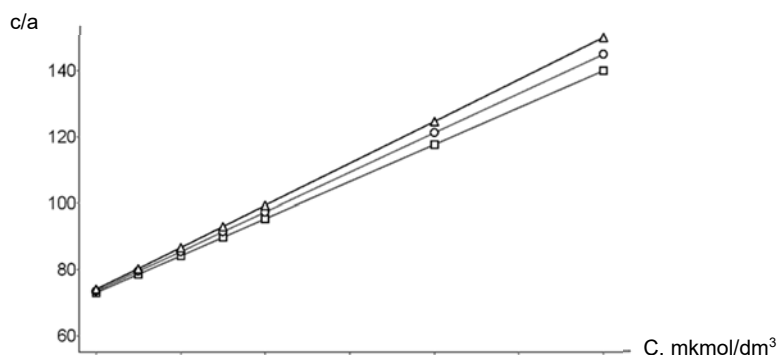
1 – biohumus Ca – 0,01 M CaCl_2 – Co^{2+} ; 2 – biohumus – 0,01 M CaCl_2 – Co^{2+} ; 3 – biohumus – 0,03M NaCl – Co^{2+} 

Fig. 4. Isotherms of sorption of cobalt in the linear interpretation of the Langmuir equation.

Denominations of lines correspond to the fig. 3

Conclusions. The cobalt cationic complexes $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})\text{n}]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)\text{n}]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{CSN}_2\text{H}_4)\text{n}]^{2+}$ – are almost completely absorbed by the soils. Anionic complexes – $[\text{Co}(\text{P}_2\text{O}_7)\text{n}]^{2-4n}$, $[\text{Co}(\text{P}_3\text{O}_{10})\text{n}]^{2-5n}$ i $[\text{Co EDTA}]^{2-}$ – remain largely mobile in the soil profile. The sorption effect depends on the charge of complex ions, their strength, and also on the steric parameters of complex ions.

The use of complex-forming macro-fertilizers is perspective, in our opinion, not only to partially prevent the fixation of Co, but also from the point of view of its possible activation from fixed forms in the soil profile. A comprehensive study of the behavior of Co, depending on soil parameters and the physiological characteristics of plants, will greatly optimize the microelemental nutritional process of plants.

A high percentage of the absorption of complex cations of cobalt by different soil species is due to accumulation under the conditions of the chemical industry and the near humus. The tight positive links were established between absorptivity of the cobalt and cation exchange capacity (the correlation coefficient was 0,7976) and between absorptivity of the cobalt and humus content (the correlation coefficient was 0,7034).

In the study of biohumus, it was found that in solution of 0,02M EDTA Na_2 + 0,09M NH_4Cl , cobalt switches over to the mechanism of competitive complexation, and its transition to epy HCl solution occurs due to protonation of the functional groups of the biohumus with which the metal is bound. The obtained results indicate that biohumus has relatively high sorption properties relative to cobalt and may be perspective for its use as an effective carrier matrix in various combinations with mineral fertilizers.

Список використаних джерел

Карнаузов, О.І., Галімова, В.М., Галімов, К.Р. (2000). Теорія інверсійної хронопотенціометрії із заданим опором ланцюга. *Науковий вісник Національного аграрного університету*, 32, 204-209.

Копилевич, В.А., Максим, В.И., Суровцев, И.В., Галімова, В.М., Панчук, Т.К. Манк, В.В. (2015). Инверсионно-хронопотенциометрическое определение микроколичеств никеля и кобальта в водах. *Химия и технология воды*, 37, 5, 454-462.

Копилевич, В.А., Суровцев, И.В., Галімова, В.М., Козак, К.Г. (2012). Методика виконання вимірювання масової концентрації рухомих форм важких металів та токсичних елементів (Pb, Cu, Zn, Cd, Hg, As, Ni, Co) у ґрунтах методом інверсійної хронопотенціометрії. МБВ 081/36-0833-12 НУБІП України.

Albanese, S., Sadeghi, M., Lima, A., Cicchella, D., Dinelli, E., Valera, P., ... & Team, T. G. P. (2015). GEMAS: cobalt, Cr, Cu and Ni distribution in agricultural and grazing land soil of Europe. *Journal of Geochemical Exploration*, 154, 81-93.

Collins, R. N., Kinsela, A. S. (2010). The aqueous phase speciation and chemistry of cobalt in terrestrial environments. *Chemosphere*, 79(8), 763-771.

Menshov, O. I. (2016). Magnetic method applying for the control of productive land degradation. *Geofizicheskij Zhurnal*, 38(4), 130-137.

Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 62(4), 681-696.

Paliytsia, B., Kulik, T., Dudik, O., Cherniavska, T., Tonkha, O. (2014). Study of the thermal decomposition of some components of biomass by desorption mass

spectrometry. In *International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2013)* (pp. 19-25). Springer, Cham.

Pereira, P., Brevik, E., Oliva, M., Estebanaraz, F., Depellegrin, D., Novara, A., Cerda, A., Menshov, O. (2017). Goal Oriented soil mapping: applying modern methods supported by local knowledge. In Pereira, P., Brevik, E., Munoz-Rojas, M., Miller, B. (Eds.) *Soil mapping and process modelling for sustainable land use management* (pp. 61- 83). Elsevier: ISBN: 9780128052006.

Perez-Espinosa, A., Moral, R., Moreno-Caselles, J., Cortés, A., Perez-Murcia, M. D., Gomez, I. (2005). Co phytoavailability for tomato in amended calcareous soils. *Bioresource technology*, 96(6), 649-655.

Surovtsev, I.V., Martunov, I.A., Galimova, V.M., Babak, O.V. (2011). Device for measurement of concentration of heavy metals. *Patent, №96375*, published 25.10.11.

Tonkha, O. L., Dzyazko, Y. S. (2014). Soils and Plant Roots. In Volfkovich, Y. M., Filippov, A. N., Bagotsky, V. S. (Eds.) *Structural properties of porous materials and powders used in different fields of science and technology* (pp. 221-249). Springer: ISBN: 978-1-4471-6377-0.

Tonkha, O.L., Sychevskiy, S.O., Pikovskaya, O.V., Kovalenko, V.P. (2018). Modern approach in farming based on estimation of soil properties variability. *12th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 68-74.

References

Albanese, S., Sadeghi, M., Lima, A., Cicchella, D., Dinelli, E., Valera, P., ... & Team, T. G. P. (2015). GEMAS: cobalt, Cr, Cu and Ni distribution in agricultural and grazing land soil of Europe. *Journal of Geochemical Exploration*, 154, 81-93.

Collins, R.N., Kinsela, A.S. (2010). The aqueous phase speciation and chemistry of cobalt in terrestrial environments. *Chemosphere*, 79(8), 763-771.

Karnaukhov, O.I., Galimova, V.M., Galimov, K.R. (2000). Teoriya inversiynoyi khronopotentsiometriyi iz zadanyim oporom lantsyuha. *Scientific Bulletin of the National Agrarian University*, 32, 204-209. [in Ukrainian]

Kopilevich, V.A., Surovtsev, I.V., Galimova, V.M. (2015). Inversion-chronopotentiometry analysis of micro quantities of nickel and cobalt in the water. *Journal of water chemistry and technology*, 37, 5, 454-462. [in Russian].

Kopilevich, V.A., Surovtsev, I.V., Galimova, V.M., Kozak, K.G. (2012). Metodika vykonannya vymiryuvannya masovoyi kontsentratsiyi rukhomykh form vazhkykh metaliv ta toksychnykh elementiv (Pb, Su, Zn, Cd, Hg, As, Ni, Co) u ґрунтах методом інверсійної хронопотенціометрії. МБВ 081/36-0833-12 NULES of Ukraine. [in Ukrainian]

Menshov, O.I. (2016). Magnetic method applying for the control of productive land degradation. *Geofizicheskij Zhurnal*, 38(4), 130-137.

Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 62(4), 681-696.

Paliytsia, B., Kulik, T., Dudik, O., Cherniavska, T., Tonkha, O. (2014). Study of the thermal decomposition of some components of biomass by desorption mass spectrometry. In *International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2013)* (pp. 19-25). Springer, Cham.

Pereira, P., Brevik, E., Oliva, M., Estebanaraz, F., Depellegrin, D., Novara, A., Cerda, A., Menshov, O. (2017). Goal Oriented soil mapping: applying modern methods supported by local knowledge. In Pereira, P., Brevik, E., Munoz-Rojas, M., Miller, B. (Eds.) *Soil mapping and process modelling for sustainable land use management* (pp. 61- 83). Elsevier: ISBN: 9780128052006.

Perez-Espinosa, A., Moral, R., Moreno-Caselles, J., Cortés, A., Perez-Murcia, M.D., Gomez, I. (2005). Co phytoavailability for tomato in amended calcareous soils. *Bioresource technology*, 96(6), 649-655.

Surovtsev, I.V., Martunov, I.A., Galimova, V.M., Babak, O.V. (2011). Device for measurement of concentration of heavy metals. *Patent, №96375*, published 25.10.11.

Tonkha, O.L., Dzyazko, Y.S. (2014). Soils and Plant Roots. In Volfkovich, Y.M., Filippov, A.N., & Bagotsky, V.S. (Eds.) *Structural properties of porous materials and powders used in different fields of science and technology* (pp.221-249). Springer: ISBN: 978-1-4471-6377-0.

Tonkha, O.L., Sychevskiy, S.O., Pikovskaya, O.V., Kovalenko, V.P. (2018). Modern approach in farming based on estimation of soil properties variability.

12th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 68-74.

Надійшла до редколегії 19.05.19

В. Манк¹, д-р хім. наук, проф.

О. Тонха², д-р с.-г. наук, проф., декан, E-mail: oksana16095@gmail.com

В. Галимова³, канд. хім. наук, доц.

І. Суровцев², д-р техн. наук

О. Меньшов⁴, д-р геол. наук, ст. наук. співроб., E-mail: menshov.o@ukr.net

О. Бикова⁵, зав. лаб.

І. Роговський², канд. техн. наук, ст. наук. співроб.

¹Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

³Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН України, Київ, Україна

⁴Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

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

⁵ТОВ Лотівка-Еліт, Хмельницький, Україна

ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПОГЛИНАННЯ КОБАЛЬТУ ҐРУНТАМИ УКРАЇНИ

Досліджено процеси поглинання кобальту ґрунтами України за допомогою електрохімічного методу імпульсної інверсійної хронопотенціометрії. Установлено, що поглинальна здатність Co різновидами ґрунтів із комплексоутворювальних середовищ становить 64–98 %. У розчинах KNO_3 , NH_4OH і CSN_2H_4 рухомі сполуки кобальту входять до складу $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{CSN}_2\text{H}_4)_n]^{2+}$, а у розчинах $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ і EDTA утворюються аніонні комплекси $[\text{Co}(\text{P}_2\text{O}_7)_n]^{2-4n}$, $[\text{Co}(\text{P}_3\text{O}_{10})_n]^{2-5n}$ і $[\text{Co}(\text{EDTA})_n]^{2-}$. Катионні комплекси кобальту – $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{CSN}_2\text{H}_4)_n]^{2+}$ – практично повністю сорбуються ґрунтами. Аніонні комплекси – $[\text{Co}(\text{P}_2\text{O}_7)_n]^{2-4n}$, $[\text{Co}(\text{P}_3\text{O}_{10})_n]^{2-5n}$ і $[\text{Co}(\text{EDTA})_n]^{2-}$ значною мірою залишаються мобільними в ґрунтового профілі. Сорбційний ефект залежить від заряду комплексних іонів, їхньої міцності, а також від стереометричних параметрів комплексних іонів. Установлено тісний позитивний зв'язок між поглинанням кобальту ґрунтом і ємністю катіонного обміну ґрунту, коефіцієнт кореляції становить 0,7976, і між поглинанням кобальту ґрунтом і вмістом гумусу (0,7034). При дослідженні біогумусу встановлено, що в розчин $0,02\text{M}$ EDTA Na_2 + $0,09\text{M}$ NH_4Cl кобальт переходить за механізмом конкурентного комплексоутворення, його перехід у розчин HCl відбувається за рахунок протонізації функціональних груп біогумусу, з якими зв'язаний метал. Біогумус має досить високі сорбційні властивості щодо кобальту і може бути перспективним для використання його як ефективної матриці – носія в різних сполученнях з основними добривами. Ізотерми сорбції або обміну Co^{2+} на обмінні іони біогумусу в різних розчинах відповідають ізотермам монослоєвої адсорбції Ленгмюра. Метод ІХП аналізу важливо використовувати для контролю вмісту мікроелементів на рівні їхніх слідових концентрацій, які є необхідними для розвитку рослин.

Ключові слова: доступний вміст кобальту, сорбційні процеси, біогумус, катіонообмінна ємність, електрохімічний імпульсний метод.

В. Манк¹, д-р хім. наук, проф.

О. Тонха², д-р с.-г. наук, проф., декан, E-mail: oksana16095@gmail.com

В. Галимова³, канд. хім. наук, доц.

І. Суровцев², д-р техн. наук

О. Меньшов⁴, д-р геол. наук, ст. науч. сотр., E-mail: menshov.o@ukr.net

О. Быкова⁵, зав. лаб.,

І. Роговський², канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

¹Національний університет пищевых технологий, Киев, Украина

²Національний університет біоресурсів і природопольовання України, Киев, Украина

³Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины, Киев, Украина

⁴Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

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

⁵ТОВ Лотовка-Еліт, Хмельницький, Украина

ЕЛЕКТРОХІМІЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОГЛОЩЕНИЯ КОБАЛЬТА ПОЧВАМИ УКРАИНЫ

Исследованы процессы поглощения кобальта почвами Украины с помощью электрохимического метода импульсной инверсионной хронопотенциометрии. Установлено, что поглощающая способность кобальта разновидностями почвы из комплексообразующих сред составляет 64–98 %. В растворах KNO_3 , NH_4OH и CSN_2H_4 подвижные соединения кобальта входят в состав $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{CSN}_2\text{H}_4)_n]^{2+}$, а в растворах $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ и EDTA образуются анионные комплексы $[\text{Co}(\text{P}_2\text{O}_7)_n]^{2-4n}$, $[\text{Co}(\text{P}_3\text{O}_{10})_n]^{2-5n}$ и $[\text{Co}(\text{EDTA})_n]^{2-}$. Катионные комплексы кобальта – $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_n]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{CSN}_2\text{H}_4)_n]^{2+}$ – практически полностью сорбируются почвами. Анионные комплексы $[\text{Co}(\text{P}_2\text{O}_7)_n]^{2-4n}$, $[\text{Co}(\text{P}_3\text{O}_{10})_n]^{2-5n}$ и $[\text{Co}(\text{EDTA})_n]^{2-}$ в значительной степени остаются мобильными в почвенном профиле. Сорбционный эффект зависит от заряда комплексных ионов, их прочности, а также от стереометрических параметров комплексных ионов. Установлена тесная положительная связь между поглощением кобальта почвами и ёмкостью катийного обмена почвы, коэффициент корреляции составил 0,7976, и между поглощением кобальта почвами и содержанием гумуса (0,7034). При исследовании биогумуса установлено, что в раствор $0,02\text{M}$ EDTA Na_2 + $0,09\text{M}$ NH_4Cl кобальт переходит по механизму конкурентного комплексообразования, его переход в раствор HCl происходит за счет протонизации функциональных групп биогумуса, с которыми связан металл. Биогумус имеет достаточно высокие сорбционные свойства кобальта и может быть перспективным для использования его в качестве эффективной матрицы – носителя в разных сочетаниях с основными удобрениями. Изотермы сорбции или обмена кобальта на обменные ионы биогумуса в различных растворах соответствуют изотермам монослойной адсорбции Ленгмюра. Метод ИХП анализа важно использовать для контроля содержания микроэлементов на уровне их следовых концентраций, необходимых для развития растений.

Ключевые слова: доступное содержание кобальта, сорбционные процессы, биогумус, катионообменная ёмкость, электрохимический импульсный метод.

UDC 550.837

E. Kuzmenko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.

E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com;

S. Bagriy, Cand. Sci. (Geol.)

E-mail: gbg2020@ukr.net;

V. Fedoriv, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.

E-mail: volodimir_fedoriv@email.ua;

N. Shtogrin, Senior Lecturer

E-mail: Nikolay1960@ukr.net;

U. Dzoba, Assist. Prof.

E-mail: ulianadzoba@gmail.com

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Institute of Tourism and Geosciences

15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

DETERMINATION OF THE PETROLEUM POLLUTION SOURCES FOR GROUNDWATER (ON THE EXAMPLE OF SOLOTVYN TERRITORY IN THE PRECARPATHIANS)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

The article is dedicated to solution of groundwater oil products pollution problem within area of Solotvyn village, which is located in Precarpathians, Ivano-Frankivsk region of Ukraine. Contamination was found in the wells of drinking water supply with specific taste and smell. The alternative sources of pollution are considered: conserved oil well, oil pipeline and gas station (GS).

All owners of these facilities submitted survey or test documents confirming tightness (well and gas station tanks) or lack of hydrocarbons (inactive pipeline). A paradoxical situation arose: there is pollution, but there are no sources of pollution. To solve the problem, the complex of geochemical and geophysical methods was applied.

Geochemical studies were conducted for water samples taken from wells in the contaminated area and adjacent areas. In addition, samples of near-surface air in the soil were collected on the condensed network. The level of heavy and light hydrocarbons in polluted water samples exceeded the background values by tens of times and exceeded the permissible concentrations. Laboratory tests of air samples clarified and detailed the contaminated area.

According to the results of geochemical surveys it was found that the source of pollution can be located on the GS territory.

Geophysical studies have allowed finding out the lithological structure of the upper part of the section and establishing the depth of the roof and the bottom of the groundwater collector and, accordingly, the underlying aquifer roof. At the same time, the filtration direction in aquifer and a location of old river channel that are in correlation with spreading of groundwater from GS to polluted wells.

The report on the causes of groundwater pollution with oil products and on the established source of pollution was submitted to the relevant authorities of the State Service of Ukraine for Emergency Situations.

Keywords: oil products, pollution, chink, geophysics, geochemistry, underground gas.

The relevance of issue. Analysis of literary data.

Pollution of groundwater, as discussed in the article, is related to the area of Solotvyn village, which is located in Precarpathians in Ivano-Frankivsk region of Ukraine in the Bystrytsia Solotvynska river basin, which is a tributary of the Dniester River.

Pollution was first found in 2007 in several wells that are the sources of household water supply. Pollution was found according to chemical and bacteriological indicators but overtime it decreased. But in 2013 next "flash" of pollution was marked. The results of laboratory studies showed evidence of oil products in water with major excess of maximum allowed concentration. The square of polluted area was 900 m².

Objects, which could be potentially sources of pollution, were considered to be decommissioned in 1986 oil pipeline "Kosmach – GU Starunia", conserved chink (for gas) "15 – Babche", gas station within the urban-type village of Solotvyn.

As water quality starting from 2013 didn't improve over time, in 2016 at the request of village council all the companies-owners of mentioned objects gave conclusions about their ecological state. The results of examinations, according to introduced official conclusions, point on absence of pollution possibility of groundwater as a result of activity of companies on these objects. So, a paradoxical situation has arisen: pollution exists, but its' sources – don't.

Analysis of groundwater pollution on the territory of Ukraine is a topic of survey of many scientists. In particular, in oil products pollution professor M.S. Ohniansky was engaged. Works (Ohniansky et al., 2013; Ohniansky et al., 2017) suggested the principle of evaluation of oil products pollution danger of natural and household objects and creation of warning zone around potential pollution objects-sources of geological environment and location of observation points in it.

Determination of pollution via complex of methods on objects of oil and gas, mining and chemical industry is represented in works (Osadchyi et al., 2004; Hrytsyk et al., 2004; Dryhulych et al., 2003; Levashov et al., 2004), where it is suggested use of geoelectrical and geochemical methods of research for detection and outline of oil pollution zones.

Works (Onyshchuk et al., 2010; Onyshchuk et al., 2006; Onyshchuk et al., 2006; Bahrii end Kuzmenko, 2010) are dedicated to determination of pollution within industrial objects (tailings dams, salt dumps, tailings ponds, objects with mineral fertilizers etc.).

Geophysical and geochemical methods of research are successfully used also abroad. Works (Abdullahi et al., 2016; Burazer and Burazer, 2017; Dahlin et al., 2010; Guerin et al., 2004; Koo and Yoon, 1994; Lohva et al., 2007; Papyrin and Pustozarov, 1998) presented their efficiency for detection and outline of polluted territories. After analysing mentioned and other works, we could conclude, that complex of geophysical and geochemical methods will allow to find source of pollution for indicated territory.

Goal and tasks of research. Conducted geochemical and geophysical surveys set the goal for finding the source of pollution of groundwater and routes of pollution spreading.

For accomplishing of the set goal the following actions were done:

Sampling from wells and analysis for oxidation-reducing indicator (pH) and content of hydrocarbons for determination of level and area of pollution;

Sampling of free underground gas from depth of 0,5 m and analysis for hydrocarbons content for determination of area of pollution by light fractions;

Geophysical research by natural electric field method for mapping of filtration flows;

Geophysical research by vertical electric sounding method for mapping the roof of indigenous rocks and the determination of the capacity of the aquifer.

General characteristics of research area. Geological structure of the research territory was carefully studied in previous years due to oil and gas capacity of the region and is described in numerous reports of different organizations. In terms of location of oil and gas deposits, territory of research is located within mining drainage Bytkiv-Babche oil and gas condensate field. The closest to pollution area is oil well – Rakovets-1. It is located 225 meters from pollution zone down to underground water flow – in northeast direction and currently is liquidated. Well No. 15 – Babche is situated 830 meters from pollution zone. Well was drilled in 2013 and conserved in the same year, like one that didn't give industrial oil products rush.

In geostructural relation territory of research is included into zone of connection of Sambir zone with the Bilche-Volyn zone of the Carpathian precipice. Geological structure of region is represented by sedimentary rocks belonging to the Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic ages, and mainly by sandy-clay, argillite and siltstone fractions.

It is clear that we are interested in the upper part of the section, within which there is an aquifer, whose water was contaminated. In fig. 1 is a section, built by us on basis of the description of rocks extracted during the tunnel in the beginning of July 2017 within the area of a farmland in the territory of research.

Closer to the edge of the valley of the river, argillites in the wells are set at a depth of 4,5 meters, that is, the capacity of alluvial river deposits decreases. It should be noted that the direction of movement of groundwater within the contaminated area is approximately parallel to the direction of the Bystrytsia Soltvynska, as evidenced by the location of the water outlets in the wells. This groundwater is formed on the territory of the floodplain of the river due to infiltration of atmospheric precipitation. The aquifer, which is used by the inhabitants of the village, is a pebble alluvial horizon, formed in ancient times by the Bystrytsia Soltvynska River.

AGE		Lithology	Depth	Thickness
Period	Horizon			
Q	Quaternary deposits	Black-browned clay (Polyanytska suite)	0,8	0,8
Q _{al}	Upper quaternary alluvial deposits of the floodplain terraces of Bystrytsia Solotvynska	Small pebble with a sandy-clay filler of gray color, from large to fine-grained	4,2	4,2
Pz _{ml-bst}	Paleozoic, minilite horizon	Shallow argillite	0,8	0,8

Note: groundwater level at a depth of 4,5 meters

Fig. 1. Lithostratigraphic section of the research site

The results of gas geochemical research. Water gas capture. Water gas capture was conducted to identify a potential source of groundwater contamination of wells by hydrocarbons. For this purpose, 15 samples of water from the wells were selected on contaminated and adjoining territory. It is clear that such analyses, together with an evaluation of the potential route of groundwater from potential pollution objects, can provide an answer to the location of a specific source of pollution. Fig. 2 shows a scheme for sampling water from wells. The selected samples of water are degassed by the method of thermovacuum degassing, which resulted in the release of water-soluble gases in them and appropriate chromatographic analyses. The results are shown in table 1. In the waters, the oxidation-reducing parameter (pH) of the medium was also determined. In all waters, the reaction of the medium is slightly acid to neutral (pH = 5,9–6,8), indicating the presence of oxidants in water, which are hydrocarbons dissolved in water.



Fig. 2. Places of sampling water from wells

Table 1

Sample number	Unit	Gas mixture composition										Total CH ₄ -C ₆ H ₁₄ mg/m ³
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄ +B	
No. 1 SI.	%, x10 ⁻⁴	12,12	0,88	0,08	1,06	—	0,37	1,33	1,19	1,19	0,52	18,76
	mg/m ³	8,68	1,18	0,10	2,08	—	0,96	3,46	3,85	3,84	2,01	26,18
No. 2 SI.	%, x10 ⁻⁴	4,49	0,20	0,07	0,30	—	0,09	0,22	0,16	0,20	0,19	5,96
	mg/m ³	3,21	0,27	0,09	0,60	—	0,25	0,57	0,52	0,66	0,73	6,94
No. 3 SI.	%, x10 ⁻⁴	74,72	7,15	0,80	1,33	—	2,58	19,99	67,88	26,05	0,11	200,64
	mg/m ³	53,49	9,59	1,00	2,62	—	6,69	51,85	218,5	83,86	0,45	428,08
No. 4 SI.	%, x10 ⁻⁴	10,84	0,63	0,12	0,30	—	0,25	1,56	3,87	1,94	0,14	19,69
	mg/m ³	7,76	0,85	0,15	0,59	—	0,65	4,06	12,48	6,24	0,56	33,39
No. 5 SI.	%, x10 ⁻⁴	16,09	0,40	0,05	0,31	—	0,09	0,52	0,58	0,41	0,08	18,55
	mg/m ³	11,59	0,53	0,06	0,61	—	0,23	1,35	1,87	1,34	0,32	17,86
No. 6 SI.	%, x10 ⁻⁴	6,65	0,34	0,06	0,54	—	0,20	0,76	0,53	0,43	0,27	9,82
	mg/m ³	4,77	0,46	0,07	1,06	—	0,53	1,98	1,72	1,39	1,06	13,08
No. 7 SI.	%, x10 ⁻⁴	7,31	0,15	0,06	0,20	—	0,07	0,76	0,79	0,64	0,14	10,16
	mg/m ³	5,24	0,20	0,08	0,40	—	0,20	1,98	2,54	2,06	0,53	13,26
No. 8 SI.	%, x10 ⁻⁴	6,73	0,14	0,05	0,17	—	0,05	0,44	0,39	0,35	0,02	8,39
	mg/m ³	4,82	0,19	0,06	0,35	—	0,15	1,16	1,27	1,14	0,08	9,25
No. 9 SI.	%, x10 ⁻⁴	3,21	0,06	0,02	0,04	—	0,01	0,07	0,03	0,07	0,08	3,61
	mg/m ³	2,29	0,08	0,03	0,07	—	0,04	0,18	0,11	0,22	0,32	3,38
No. 10 SI.	%, x10 ⁻⁴	4,21	0,02	—	0,04	—	0,04	0,08	0,24	0,02	0,12	4,80
	mg/m ³	3,01	0,03	—	0,09	—	0,11	0,23	0,77	0,07	0,48	4,08
No. 11 SI.	%, x10 ⁻⁴	3,77	0,03	—	0,03	—	0,01	0,04	0,04	0,06	0,09	4,10
	mg/m ³	2,70	0,04	—	0,06	—	0,03	0,11	0,12	0,20	0,38	3,67
No. 12 SI.	%, x10 ⁻⁴	4,21	0,04	0,20	0,04	—	0,02	0,02	0,01	0,05	0,07	4,69
	mg/m ³	3,01	0,06	0,25	0,08	—	0,06	0,06	0,04	0,16	0,28	4,04
No. 13 SI.	%, x10 ⁻⁴	3,91	0,04	0,04	0,04	—	0,01	0,04	0,02	0,09	0,10	4,32
	mg/m ³	2,80	0,05	0,05	0,08	—	0,04	0,11	0,07	0,28	0,38	3,91
No. 14 SI.	%, x10 ⁻⁴	3,86	0,06	0,11	0,05	—	0,01	0,08	0,03	0,08	0,15	4,47
	mg/m ³	2,76	0,08	0,14	0,11	—	0,02	0,21	0,11	0,28	0,59	4,34
No. 15 SI.	%, x10 ⁻⁴	3,89	0,04	0,08	0,02	—	0,03	0,07	0,02	0,07	0,07	4,33
	mg/m ³	2,78	0,06	0,10	0,05	—	0,08	0,19	0,08	0,22	0,29	3,89

According to the results, in all samples, methane and its homologues to C₆ + were detected inclusively. Also, in almost all samples (except for 10-SI. and 11-SI.) unsaturated ethylene homologue (C₂H₄) was found.

The content of methane in water is in the range of 2,7 ÷ 53,49 mg/m³. Moreover, for wells from No.1 to No. 8, the content of dissolved methane is more differentiated and is within the range of 3,21 ÷ 53,49 mg/m³ at the maximum value in the well No. 3–53,49 mg/m³, and for the wells from No. 9 to number 15 it is slightly smaller, more stable and varies from 2,29÷3,01 mg/m³ and only in the sample from well No. 3 the maximum value is 53,49 mg/m³.

The content of butane in water for wells 9÷15 varies mainly from 0,124 mg/m³ at to 0,347 mg/m³, and for wells 1÷8 is slightly larger – 0,57÷51,85 mg/m³ with a maximum value of 51,85 mg/m³ in the well No. 3.

Capture of underground gas of free state. In the process of the implementation of near-surface gas geochemical survey, 28 samples of free groundwater from a depth of 0,5 m were selected. Fig. 2 depicts gas sampling points.

The capture was conducted in order to find the possible source of groundwater contamination by oil products. In total, four main objects were surveyed: a gas station, a liquidated well, a non-operating oil pipeline link and eight wells (No. 1÷8), in which relatively high levels of hydrocarbon dissolved in water were detected.

Analyses of gas-air mixtures, as compared with the analysis of water samples in wells, have the advantage that they are not limited in area by the presence of wells, but can be selected anywhere. The results of chromatographic analyses of selected near-surface gas mixtures are shown in table 2.

On fig. 3 the graphical distribution of background and abnormal gas geochemical zonation is depicted.

Gas station. A total of 10 underground gas samples were selected around the gas station, six of which revealed homologues of methane up to C₆ (hexane) inclusive. In two

samples No. 18 and No. 19, unsaturated ethylene was detected.

The content of methane in the subterranean atmosphere varies within 1,880 ÷ 6,516 x 10⁻⁴ vol. and an average of 3,098 x 10⁻⁴ vol., which according to STK 320,20077720.0162000 refers to the 1st degree of gas content of near-surface sediments and under the conditions of gas safety, refers to safe backgrounds.

Liquidated well 15-Babche. It is located at the distance of nearly 900 m southwest from the epicentre of groundwater contamination. 4 samples of subsoil gas were selected around the well. The content of methane in the subsoil deposits varies from 6,075 to 13,849 x 10⁻⁴ vol. and an average of 9,97 x 10⁻⁴ vol. This indicates the presence of dead passes in this well. In all samples homologues of methane to C₆ were found. Unsaturated hydrocarbons are absent.

Links of inactive oil pipeline. Six samples of subsoil atmosphere have been selected. Methane and its homologues, to C₆, are defined in all trials. Hexane plus higher was found in samples No. 13 and No. 14. Also, unsaturated ethylene – Ordinary alcohol in samples No. 13, No. 14, No. 12 and No. 11 was detected.

The content of methane in samples above the oil pipeline varies in the range of 2,900 ÷ 5,673 x 10⁻⁴ vol. and an average of 4–00 x 10⁻⁴ vol.

Wells. Methane and all of its homologues to C₆ were detected in underground gas samples taken near 8 wells (No. 1÷8). The content of methane in the underground atmosphere has low values, varying within the range of 2,571÷3,728 x 10⁻⁴ vol. and an average of 3,170 x 10⁻⁴ vol. Unsaturated ethylene is detected only in sample No. 8.

Based on the received data of subterranean gas surveying, gas pollution maps and analysis of their results, it can be noted that two zones of relatively high gas content under the surface sediments are allocated on the surveyed

area – a zone of gas stations where the high gas content of near-surface sediments is allocated by light, heavy and total carbohydrates, and somewhat displaced zone with respect

to the well number 3 in the direction of the movement of groundwater, which is also allocated for light, heavy and aggregate values.

Table 2

Results of chromatographic analyses of gas-air mixtures

Sample number	Unit	Gas mixture composition										Total CH ₄ -C ₆ H ₁₄ , mg/m ³
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄ +B	
No. 1-Ch	%, x10 ⁻⁴	3,564	0,052	–	0,071	–	0,011	0,048	0,041	0,043	0,071	3,457
	mg/m ³	2,551	0,070	–	0,140	–	0,029	0,124	0,132	0,138	0,273	
No. 2-Ch	%, x10 ⁻⁴	2,606	0,066	–	0,039	–	0,034	0,082	0,043	0,024	0,019	2,620
	mg/m ³	1,865	0,089	–	0,077	–	0,088	0,213	0,138	0,077	0,073	
No. 3-Ch	%, x10 ⁻⁴	2,571	0,062	–	0,034	–	0,013	0,047	0,041	0,046	0,018	2,495
	mg/m ³	1,840	0,083	–	0,067	–	0,034	0,122	0,132	0,148	0,069	
No. 4-Ch	%, x10 ⁻⁴	2,709	0,053	–	0,03	–	0,013	0,03	0,013	0,018	0,019	2,354
	mg/m ³	1,939	0,071	–	0,059	–	0,034	0,078	0,042	0,058	0,073	
No. 5-Ch	%, x10 ⁻⁴	3,492	0,054	–	0,021	–	0,020	0,048	0,030	0,035	0,173	3,665
	mg/m ³	2,500	0,072	–	0,041	–	0,053	0,125	0,096	0,111	0,667	
No. 6-Ch	%, x10 ⁻⁴	3,728	0,045	–	0,085	–	0,029	0,074	0,061	0,04	0,053	3,691
	mg/m ³	2,668	0,060	–	0,167	–	0,075	0,192	0,196	0,129	0,204	
No. 7-Ch	%, x10 ⁻⁴	3,516	0,048	–	0,028	–	0,033	0,065	0,054	0,051	–	3,229
	mg/m ³	2,517	0,064	–	0,055	–	0,086	0,169	0,174	0,164	–	
No. 8-Ch	%, x10 ⁻⁴	3,113	0,06	0,019	0,052	–	0,025	0,05	0,043	0,035	0,08	3,188
	mg/m ³	2,228	0,080	0,024	0,102	–	0,065	0,130	0,138	0,113	0,308	
No. H9-Ch	%, x10 ⁻⁴	4,099	0,078	–	0,074	–	0,047	0,065	0,045	0,034	–	3,730
	mg/m ³	2,934	0,105	–	0,146	–	0,122	0,169	0,145	0,109	–	
No. H10-Ch	%, x10 ⁻⁴	5,123	0,093	–	0,057	–	0,029	0,062	0,057	0,056	–	4,503
	mg/m ³	3,667	0,125	–	0,112	–	0,075	0,161	0,183	0,180	–	
No. H11-Ch	%, x10 ⁻⁴	2,900	0,044	0,013	0,039	–	0,047	0,051	0,018	0,024	–	2,617
	mg/m ³	2,76	0,059	0,016	0,077	–	0,122	0,132	0,058	0,077	–	
No. H12-Ch	%, x10 ⁻⁴	2,314	0,053	0,02	0,028	–	0,027	0,097	0,01	0,011	–	2,197
	mg/m ³	1,657	0,071	0,025	0,055	–	0,070	0,252	0,032	0,035	–	
No. H13-Ch	%, x10 ⁻⁴	3,841	0,089	0,024	0,046	–	0,057	0,07	0,067	0,049	0,104	4,093
	mg/m ³	2,749	0,119	0,030	0,091	–	0,148	0,018	0,216	0,158	0,400	
No. H14-Ch	%, x10 ⁻⁴	5,673	0,107	0,059	0,082	–	0,035	0,069	0,051	0,055	0,15	5,628
	mg/m ³	4,061	0,144	0,074	0,161	–	0,091	0,179	0,164	0,177	0,577	
No. GS15Ch	%, x10 ⁻⁴	3,099	0,077	–	0,047	–	0,022	0,038	0,032	0,043	–	2,809
	mg/m ³	2,218	0,103	–	0,092	–	0,057	0,098	0,102	0,139	–	
No. GS16Ch	%, x10 ⁻⁴	1,880	0,062	–	0,035	–	0,033	0,037	–	–	–	1,681
	mg/m ³	1,346	0,083	–	0,069	–	0,086	0,097	–	–	–	
No. GS17Ch	%, x10 ⁻⁴	3,295	0,043	–	0,022	–	0,024	0,032	0,034	0,015	–	2,763
	mg/m ³	2,358	0,058	–	0,043	–	0,062	0,083	0,111	0,048	–	
No. GS18Ch	%, x10 ⁻⁴	3,463	0,074	0,092	0,061	–	0,023	0,031	0,01	0,02	0,015	3,107
	mg/m ³	2,479	0,099	0,115	0,120	–	0,060	0,080	0,032	0,064	0,058	
No. GS19Ch	%, x10 ⁻⁴	4,135	0,162	0,062	0,08	–	0,048	0,075	0,033	0,045	0	3,981
	mg/m ³	2,960	0,217	0,078	0,157	–	0,124	0,194	0,106	0,145	0,000	
No. GS20Ch	%, x10 ⁻⁴	2,369	0,035	0	0,028	–	0,016	0,081	0	0	0	2,049
	mg/m ³	1,696	0,047	0,000	0,055	–	0,041	0,210	0,000	0,000	0,000	
No. GS21Ch	%, x10 ⁻⁴	3,476	0,132	–	0,064	–	0,025	0,040	0,021	0,041	–	3,158
	mg/m ³	2,488	0,177	–	0,126	–	0,064	0,104	0,066	0,133	–	
No. GS22Ch	%, x10 ⁻⁴	4,723	0,134	–	0,108	–	0,028	0,080	0,027	0,048	–	4,295
	mg/m ³	3,380	0,180	–	0,212	–	0,074	0,207	0,088	0,154	–	
No. GS23Ch	%, x10 ⁻⁴	4,545	0,113	–	0,091	–	0,031	0,066	0,036	0,058	0,108	4,553
	mg/m ³	3,253	0,152	–	0,179	–	0,080	0,171	0,116	0,187	0,415	
No. GS24Ch	%, x10 ⁻⁴	6,516	0,272	–	0,215	–	0,014	0,067	0,065	0,064	0,12	6,538
	mg/m ³	4,664	0,365	–	0,423	–	0,036	0,174	0,209	0,206	0,461	
No. GS25Ch	%, x10 ⁻⁴	7,981	0,315	–	0,259	–	0,014	0,167	0,061	0,093	0,154	8,202
	mg/m ³	5,713	0,423	–	0,510	–	0,036	0,432	0,196	0,299	0,593	
No. GS26Ch	%, x10 ⁻⁴	11,94	0,459	–	0,325	–	0,103	0,207	0,101	0,148	0,057	11,625
	mg/m ³	8,548	0,616	–	0,638	–	0,267	0,536	0,324	0,476	0,220	
No. GS27Ch	%, x10 ⁻⁴	13,84	0,589	–	0,475	–	1,452	0,322	0,160	0,192	0,193	18,111
	mg/m ³	9,913	0,790	–	0,934	–	3,765	0,834	0,515	0,619	0,741	
No. GS28Ch	%, x10 ⁻⁴	6,075	0,477	–	0,526	–	0,051	0,310	0,128	0,139	0,017	7,882
	mg/m ³	4,348	0,640	–	1,035	–	0,132	0,803	0,412	0,447	0,065	

These data and the presence at two points of the inspection in the area of the gas station (GS18Ch and GS19Ch), as well as over the oil pipeline (sample H11-Ch and H12-Ch), unsaturated hydrocarbon gas (ethylene) speaks of its technogenic origin (the process of distillation of oil), which allows to call the gas station a source of pollution. Visually, the site of increased gas content is one abnormal zone to which the gas station is adjoined.

Results of geophysical research. Geophysical investigations are performed by two methods: vertical electrical sounding (VES) and natural electric field (NEF), and the location of the points of the VES and NEF is presented on fig. 2.

The method of VES is executed for the purpose of mapping the covering of the rocks on the profile, passing through the contamination area across the groundwater movement. After all, it is known from geological reports that

on the right bank of the Bystrytsia Solotvynska River, where research was conducted, pebble-sand forms of the first, second and third floodplain terraces are developed, and on the left bank there is the formation of the fourth floodplain terrace. That is, the river changed its position, forming a wide valley, where river alluvial deposits are developed.

It can be assumed that during its movement it formed the deep channels that exist under the surface of the earth and are the dominant element of groundwater filtration. Consequently, the specific purpose of the work by the VES method is to find such a channel for specifying the location of the groundwater flow.

Physical substantiation of the VES method is the differentiation of rocks in depth by electrical resistance. The presence of a reliable geological section, along with analysis of the curves of the VES allowed making the following table 3 correspondence of lithology, that is, the composition of rocks of the cut, and electric resistance.

All curves of VES are of the same type and correspond according to the table 3 to correlation of resistance $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$. As an example in fig. 4 is shown one of the curves of the VES with the designation of the correspondence of the branches of the curve selected by four geoelectric layers, as indicated in table 3.



Fig. 3. Total hydrocarbon content in subsoil gas

Table 3

Characteristics of the section of rocks and their electric resistance		
No. of the layer	Characteristics of the rock	Electric resistance, Om
I	Surface clay-sand formation	40–1000
II	Sand and pebbles dry rocks of river deposits	300–900
III	Sand and pebble water bodies of river deposits	35–70
IV	Root watered argillite rocks	3–7

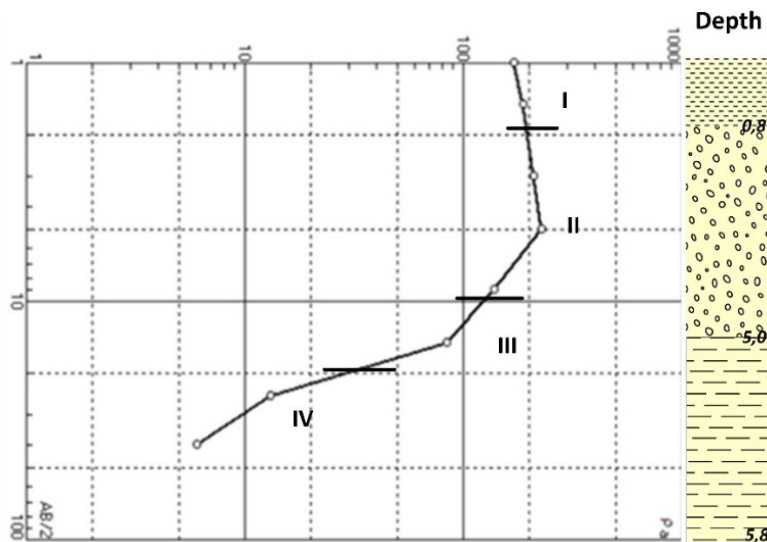


Fig. 4. Typical VES curve

In the section of imaginary resistance on a qualitative level, the tendency to increase the depth of occurrence of indigenous rocks and the presence of the ancient channel within the zone of pollution is reflected, which is the main way of filtration of groundwater in the eastern direction. The places of the largest depths in general coincide with the line of pollution. Consequently, contamination clearly lies from west to east in the sub-latitudinal direction.

In the geoelectric section, the result is reproduced in quantitative units. In fig. 5 arrows indicate the areas of the largest depths of the alluvial formations, that is, contours of the ancient channel. As can be seen, the pollution in general coincides with the data of electrical probing, because the

flow of groundwater has a local direction, from west to east. This is the direction of movement of groundwater from the gas station. Thus, the findings regarding the pollution of groundwater in the gas station territory received an indirect confirmation by the data of geoelectric studies.

The NEF method was conducted to trace the paths of active groundwater filtration. The method is based on this variant on the ability of ions of different signs in underground waters to move at different speeds, resulting in anomalies of the potential of the electric field.

The resulting map of the NEF method is a map of distribution of potentials by profiles (fig. 6).

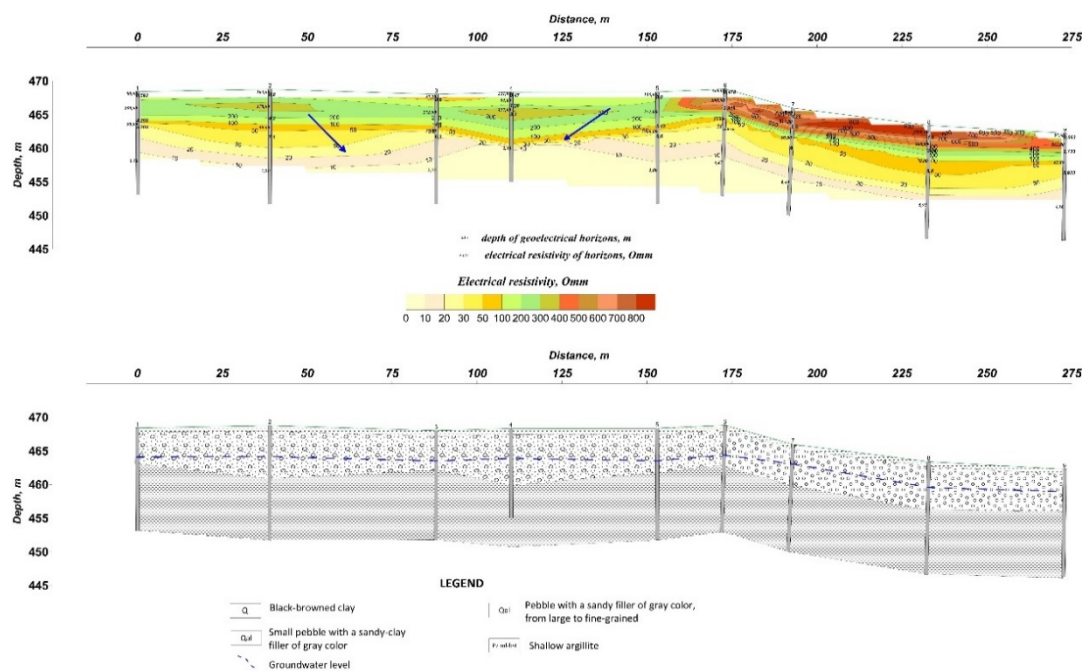


Fig. 5. Geoelectric section (according to VES)

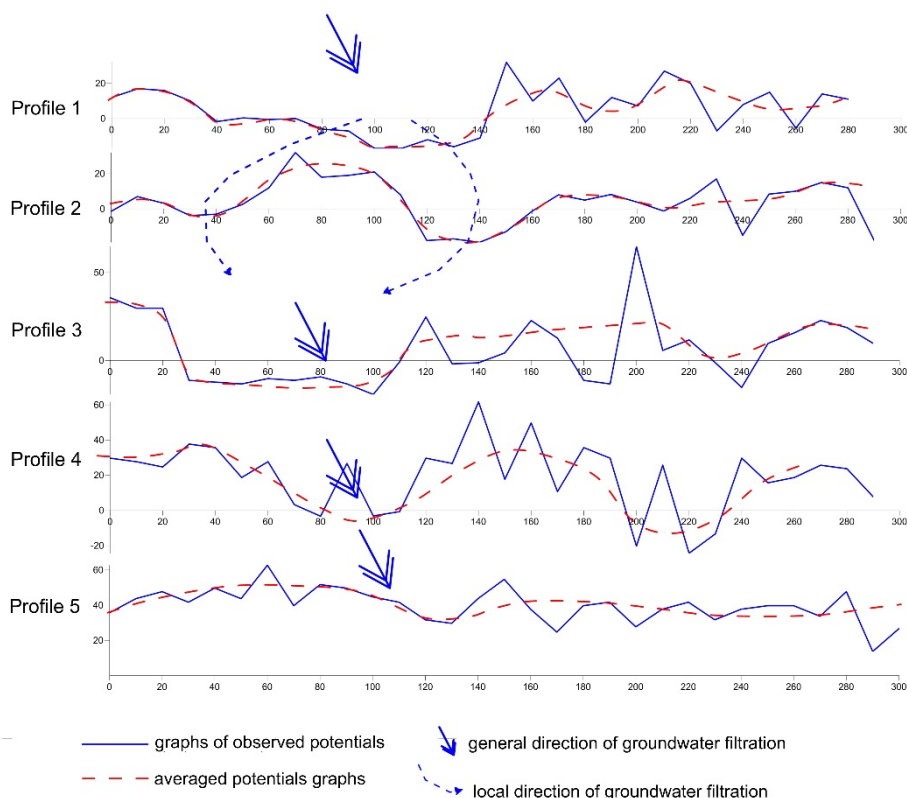


Fig. 6. Graphs of natural electrical potentials

In fig. 6, in addition to the output graphs of potentials, the averaging lines are depicted, and the arrows indicate the direction of filtration of groundwater. Negative anomalies corresponding to filtration flows correlate, that is, they are coordinated according to different profiles. The direction of movement of groundwater corresponds to the direction from the gas station to the pollution areas.

Planned distribution of potentials confirms the tendency for anomalies of lower potential in territories adjacent to the territory of the gas station.

Conclusion. According to the results of geochemical research in the territory of Solotvyn (August–September 2017) contaminated water was defined in eight wells on an area of 900 m² (the total content of light and heavy hydrocarbons from 9,258 to 428,087 mg/m³, with their contents in "clean" wells from 3,387 to 4,826 mg/m³).

The analysis of the presented cartographic materials, primarily the distribution of the content of light and heavy hydrocarbons in water and near-surface gas, suggests that the source of pollution is in the gas station, where in previous years it was likely that the oil products release in the ground occurred (possibly even in different years). At present, the pollution of the filling station territory by hydrocarbons after analyses of near-surface gas with a tendency of displacement of this pollution towards the wells is noted.

The distribution of electric resistance and natural filtration potentials obtained from geophysical studies has established the direction of filtration in the aquifer, which is consistent with the location of the ancient river bed or its sleeve, and corresponds to the distribution of groundwater from the gas station to contaminated wells.

The experience of self-cleaning groundwater due to their natural filtration shows that this process will take decades, depending on the velocity of groundwater. In order to accelerate the full water purification of hydrocarbons, it is necessary to conduct intensive pumping out of water from the wells, accompanied by periodic analyses on the content of hydrocarbons.

Prospects for the further development of research in this area are connected, firstly, with further regime observations for the purpose of monitoring and implementation of measures to eliminate sources of groundwater pollution in the object specified in the article, and secondly, using the above scientific developments and experience gained on other territories.

Список використаних джерел

- Багрий, С.М., Кузьменко, Е.Д. (2013). До питання оцінки забруднення підземних вод електрометричними методами. *Геодинаміка*, 2 (15), 93-96.
- Грицик, І.І., Дригулич, П.Г., Осадчий, В.Г., Петелько, Л.П., Приходько, О.А. (2004). Геотермоміхнічний метод оцінки забруднення доквілля нафтопродуктами на прикладі Андріяшівського газоконденсатного родовища. *VIII Міжнар. наук.-практ. конф. "Нафта і газ України"*, м. Судак, 87–88.
- Дригулич, П.Г., Грицик, І.І., Дудок, І.В., Куровець, І.М., Осадчий, В.Г., Приходько, О.А. (2003). Геофізико-геохімічний моніторинг об'єктів нафтогазового комплексу. *Наук.-практ. конф. "Екологічні проблеми нафтогазового комплексу"*, м. Яремче.
- Левашов, С.П., Якимчук, Н.А., Корчагин, І.Н. (2004). Картирование зон нефтезагрязнений геоэлектрическими методами. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: Зб. наук. праць у 2 т. К.: НАН України*, 1, 159–167.
- Отняник, М.С., Парамонова, Н.К., Брикс, А.Л., Гаврилюк, Р.Б. (2013). Эколого-гидрогеологический мониторинг территорий загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. Киев: LAT & K.
- Отняник, М.С., Брикс, А.Л., Гаврилюк, Р.Б. (2017) Розвиток моніторингових досліджень у зв'язку із забрудненням підземних вод нафтопродуктами. *Геологічний журнал*, 1, 37 - 46.
- Онищук, В., Рева, М., Онищук, Д. (2010). Екогеофізичні дослідження техногенного забруднення в районі складу мінеральних добрив. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 51, 21-23.
- Онищук, І.І., Рева, М.В., Нікітін, О.П., Онищук, В.І. (2006). Дослідження техногенного забруднення доквілля геофізичними методами. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 38, 93-96.
- Онищук, І.І., Нікітін, О.П., Миколенко, Л.І., Онищук, В.І. (2006). Вивчення техногенного забруднення за допомогою геофізичних методів. *Е. Кузьменко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.*

Мат. всеукраїнської наук. конф. "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища", 140–141.

Осадчий, В.Г., Куровець, І.М., Приходько, О.А., Грицик, І.І., Дригулич, П.Г. (2004). Геофізичні методи оцінки техногенного впливу на геологічне середовище об'єктів нафтогазового комплексу. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 4, 85 – 95.

Папырин, Л.П., Пустозеров, М.Г. (1998). Изучение ореолов загрязнения подземных вод геофизическими методами. *Охрана и разведка недр*, 1, 36-41.

Abdullahi, N.K., Jegede, S.I., Ango, A. (2016). Qualitative and Quantitative Interpretation of the Filtered Real Component of VLF-EM Data: Case Study of Solid Waste Dumpsite of Precambrian Basement Complex Rocks. *American Journal of Engineering Research*, 5, 37-46.

Burazer, M., Burazer, N. (2017). Geophysical and geochemical investigation of hydrocarbon subsurface contamination. *15th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece*.

Dahlin, T., Rosqvist, H., Leroux, V. (2010). Resistivity-IP mapping for landfill applications. *First Break*, 28, 101-105.

Guerin R., Beggassat, Ph., Benderitter, Y., David, J., Tabbagh, A., Thiry, M. (2004). Geophysical study of the industrial waste land in Mortagne-du-Nord (France) using electrical resistivity. *Near Surface Geophysics*, 3, 137-143.

Koo, Ja-Kong, Yoon, Slok-Pyo. (1994). Apportionment of leachate to ground water pollution around uncontrolled landfill by chemical mass balances. *J. Environ. Sci. and Health*, 20, 2, 411-421.

Lohva, J., Suppala, I., Jokinen, T. (2007). Airborne Geophysics in Monitoring Environmental Impacts of Landfill Case Study from Eastern Finland. *EAGE 69th Conference & Exhibition - London, UK*.

References

- Abdullahi, N.K., Jegede, S.I., Ango, A. (2016). Qualitative and Quantitative Interpretation of the Filtered Real Component of VLF-EM Data: Case Study of Solid Waste Dumpsite of Precambrian Basement Complex Rocks. *American Journal of Engineering Research*, 5, 37-46.
- Bagriy, S.M., Kuzmenko, E.D. (2013). Do pyttannya otsinky zabrudnennia pidzemnykh vod elektrometrychnymi metodamy. *Heodynamika*, 2 (15), 93-96. [in Ukrainian]
- Burazer, M., Burazer, N. (2017). Geophysical and geochemical investigation of hydrocarbon subsurface contamination. *15th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece*.
- Dahlin, T., Rosqvist, H., Leroux, V. (2010). Resistivity-IP mapping for landfill applications. *First Break*, 28, 101-105.
- Dryhulych, P.H., Hrytsyk, I.I., Dudok, I.V., Kurovets, I.M., Osadchyi, V.H., Prykhodko, O.A. (2003). Heofizyko-heokhimichni monitorynh ob'iektiv naftohazovoho kompleksu. *Nauk.-prakt. konf. "Ekologichni problemy naftohazovoho kompleksu"*, m. Yaremche. [in Ukrainian]
- Guerin R., Beggassat, Ph., Benderitter, Y., David, J., Tabbagh, A., Thiry, M. (2004). Geophysical study of the industrial waste land in Mortagne-du-Nord (France) using electrical resistivity. *Near Surface Geophysics*, 3, 137-143.
- Hrytsyk, I.I., Dryhulych, P.H., Osadchyi, V.H., Petelko, L.P., Prykhodko, O.A. (2004). Heotermokhimichni metody otsinky zabrudnennia dovkillya naftoproduktamy na prykladi Andriashivskoho hazokondensatnoho rodovyscha. *VIII Mizhnar. nauk.-prakt. konf. "Nafta i haz Ukrainy"*, m. Sudak, 87–88. [in Ukrainian]
- Koo, Ja-Kong, Yoon, Slok-Pyo. (1994). Apportionment of leachate to ground water pollution around uncontrolled landfill by chemical mass balances. *J. Environ. Sci. and Health*, 20, 2, 411-421.
- Levashov, S.P., Yakimchuk, N.A., Korchagin, I.N. (2004). Kartirovanie zon neftezagryazneniy geoelektricheskimi metodami. *Teoretichni ta prikladni aspekty heoinformatyky: Zb. nauk. pratsu 2 t. K.: NAN Ukrainy*, 1, 159–167. [in Russian]
- Lohva, J., Suppala, I., Jokinen, T. (2007). Airborne Geophysics in Monitoring Environmental Impacts of Landfill Case Study from Eastern Finland. *EAGE 69th Conference & Exhibition - London, UK*.
- Ohniansky, M.S., Bryks, A.L., Havryliuk, R.B. (2017) Rozvytok monitorynhovykh doslidzhen u zviazku iz zabrudnenniam pidzemnykh vod naftoproduktami. *Heolohichnyi zhurnal*, 1, 37–46. [in Ukrainian]
- Ohniansky, M.S., Paramonova, N.K., Briks, A.L., Gavrilyuk, R.B. (2013). Ekologo-gidrogeologicheskii monitoring territoriy zagryazneniya geologicheskoy sredy legkimi nefteproduktami. Kiev: LAT & K. [in Russian]
- Onyshchuk, I.I., Nikitin, O.P., Mykolenko, L.I., Onyshchuk, V.I. (2006). Vyvchennia tekhnogennoho zabrudnennia za dopomohoiu heofizychnykh metodiv. *Mat. vseukrainskoi nauk. konf. "Monitorynh nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv ta ekologichnoho stanu seredovyscha"*, 140–141. [in Ukrainian]
- Onyshchuk, I.I., Reva, M.V., Nikitin, O.P., Onyshchuk, V.I. (2006). Doslidzhenia tekhnogennoho zabrudnennia dovkillya heofizychnymi metodamy. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 38, 93-96. [in Ukrainian]
- Onyshchuk, V., Reva, M., Onyshchuk, D. (2010). Ekoheofizychni doslidzhenia tekhnogennoho zabrudnennia v raioni skladu mineralnykh dobriv. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 51, 21-23. [in Ukrainian]
- Osadchyi, V.H., Kurovets, I.M., Prykhodko, O.A., Hrytsyk, I.I., Dryhulych, P.H. (2004). Heofizychni metody otsinky tekhnogennoho vplyvu na heolohichne seredovysche ob'iektiv naftohazovoho kompleksu. *Heolohiia i heokhimia horiuchykh kopalyn*, 4, 85–95. [in Ukrainian]
- Papiryn, L.P., Pustozеров, M.G. (1998). Izuchenie oreolov zagryazneniya podzemnykh vod geofizicheskimi metodami. *Ohrana i razvedka neдр*, 1, 36-41. [in Russian]

E-mail: kuzmenko.eduard@gmail.com;

С. Багрий, канд. геол. наук

E-mail: gbg2020@ukr.net;

В. Федорів, канд. геол. наук, доц.

E-mail: volodimir_fedoriv@email.ua;

М. Штогрин, ст. викладач

E-mail: nikolay1960@ukr.net;

У. Дзьоба, асист.

E-mail: ulianadzoba@gmail.com

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Інститут природничих наук і туризму, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ДЖЕРЕЛ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД НАФТОПРОДУКТАМИ (НА ПРИКЛАДІ ТЕРИТОРІЇ СОЛОТВИНО В ПРИКАРПАТТІ)

Присвячено розв'язанню проблеми забруднення підземних вод нафтопродуктами на території селища Солотвино, розташованого в Прикарпатті в Івано-Франківській області України. Забруднення виявлено в колодязях питного водопостачання за смаковими якостями і специфічним запахом. Як альтернативні розглядалися такі можливі джерела забруднення: законсервована нафтова свердловина, нафтопровід, автозаправна станція (АЗС).

Усі власники зазначених об'єктів представили документи обстежень або випробувань із підтвердженням герметичності (свердловина і резервуари АЗС) або відсутності вуглеводнів (недіючий нафтопровід). Виникла парадоксальна ситуація: забруднення є, а джерел забруднення немає. Для вирішення питання застосовано комплекс геохімічних і геофізичних методів.

Геохімічні дослідження проведено для проб води, відібраних з колодязів по території забруднення та прилеглих ділянок. Крім того, позуценій мережі відібрали проби приповерхневого ґрунтового повітря в ґрунті. Вміст важких і легких вуглеводнів у забруднених пробах води перевищував фонові значення в десятки разів і перевищував гранично допустимі концентрації. Лабораторні дослідження проб повітря дозволили уточнити і деталізувати територію забруднення. За результатами геохімічних досліджень встановлено, що джерело імовірного забруднення є на території АЗС.

Геофізичні дослідження дозволили з'ясувати літологічну будову верхньої частини розрізу і встановити глибини залягання покрівлі й підшоши колектора підземних вод і відповідно покрівлі підстиляючого водоупору. При цьому однозначно визначено напрямок фільтрації у водоносному горизонті й розташування давнього русла річки, яке відповідає шляху поширення підземних вод від АЗС до забруднених колодязів.

Мотивований висновок про причини забруднення підземних вод нафтопродуктами та про встановлене джерело забруднення передано до відповідних органів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: нафтопродукти, забруднення, свердловина, геофізика, геохімія, підґрунтовий газ.

Э. Кузьменко, д-р геол.-минералог. наук, проф.

E-mail: eduard.kuzmenko1@gmail.com;

С. Багрий, канд. геол. наук

E-mail: gbg2020@ukr.net;

В. Федорив, канд. геол. наук, доц.

E-mail: volodimir_fedoriv@email.ua;

Н. Штогрин, ст. преподаватель

E-mail: nikolay1960@ukr.net;

У. Дзьоба, ассист.

E-mail: ulianadzoba@gmail.com

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа,
Институт геологии и геофизики, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НЕФТЕПРОДУКТАМИ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ СОЛОТВИНО В ПРИКАРПАТЬЕ)

Посвящено решению проблемы загрязнения подземных вод нефтепродуктами на территории поселка Солотвин, находящегося в Прикарпатье в Ивано-Франковской области Украины. Загрязнение выявлено в колодцах питьевого водоснабжения по вкусовым качествам и специфическому запаху. В качестве альтернативных рассматривались следующие возможные источники загрязнения: законсервованная нефтяная скважина, нефтепровод, автозаправочная станция (АЗС).

Все владельцы указанных объектов представили документы обследований или испытаний с подтверждением герметичности (скважина и резервуары АЗС) или отсутствия углеводородов (недействующий нефтепровод). Возникла парадоксальная ситуация: загрязнение есть, а источников загрязнения нет. Для решения вопроса применен комплекс геохимических и геофизических методов.

Геохимические исследования проведены для проб воды, отобранных из колодцев по территории загрязнения и прилегающих участков. Кроме того, по сгущенной сети отобраны пробы приповерхностного почвенного воздуха в грунте. Содержание тяжелых и легких углеводородов в загрязненных пробах воды превышало фоновые значения в десятки раз и превышало гранично допустимые концентрации. Лабораторные исследования проб воздуха позволили уточнить и детализировать территорию загрязнения.

По результатам геохимических исследований установлено, что источник вероятного загрязнения находится на территории АЗС.

Геофизические исследования позволили выяснить литологическое строение верхней части разреза и установить глубины залегания кровли и подошвы коллектора подземных вод и соответственно кровли подстилающего водоупора. При этом однозначно определено направление фильтрации в водоносном горизонте и расположение древнего русла реки, которое соответствует пути распространения подземных вод от АЗС до загрязненных колодцев.

Мотивированное заключение о причинах загрязнения подземных вод нефтепродуктами и об установленном источнике загрязнения передано в соответствующие органы Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям.

Ключевые слова: нефтепродукты, загрязнение, скважина, геофизика, геохимия, подпочвенный газ.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

UDC 622.142:622.271

A. Zelensky, DrSci. (Techn.), Prof.
E-mail: zelensky@kneu.dp.ua, tel.: +380965391760
Kryvyi Rih Economic Institute SHEE
Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman

USE OF B-SPLINES IN DEVELOPMENT OF AUTOMATED GEOLOGICAL-SURVEYING SUPPORTSYSTEM

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

Purpose. The effectiveness of the development of an information system for quarry management is primarily determined by the level of geological and surveying support (GSS), which includes solving such basic tasks as calculating reserves (operational and complete), accounting for ore mining, building the information base for mining planning and management, and field modeling, and career, ore body contouring, etc. The purpose of this work is to develop and use B-Splines in the automation of geological surveying software in the quarry.

Research methods. The basis of many tasks is the construction of surfaces. For the first time in recent years, an uneven rational B-spline (NURBS) is used to describe them, which most fully satisfies the following criteria: the model's adequacy to the real representation, the efficiency of model formation and surface construction, and the visualization of the model in three-dimensional space.

Scientific novelty. The advantages of constructing surfaces using NURBS are as follows: ease of calculation; sufficient smoothness; construction of the surface of any degree of complexity; using the weights of the control points, control of the surface (it can pass strictly through the specified control points). The latter property made it possible with the help of a NURBS surface to effectively model the day surface of a quarry with a strict passage of the surface through points of the ledges.

Practical significance. For the joint Russian-Mongolian enterprise Erdenet (Mongolia), developing the copper-molybdenum deposit, an integrated automated GSS system has been developed and has been in operation for many years. Software and algorithmic tasks of the system are constantly being improved. This article presents its latest developments and development paths. The use of NURBS allowed us to construct the day surface of the open-pit mine, to improve the complete calculation of reserves, the accounting of ore mining, and the delineation of ore bodies along the open-pit horizons.

Results. The software is implemented in C++ and C# for Windows. To build three-dimensional graphics, the tools of the open graphic library OpenGL are used. Separate modules of the developed GSS system were used at the Novokrivoyorogsk and Ingulets mining and processing plants. The methodology for constructing automated GSSs has been approved by many years of positive experience in industrial implementation and can be used for non-ferrous ore and iron ore deposits.

Keywords: B-spline, NURBS surface, open pit surface modeling, ore body contouring, ore mining accounting.

The problem and its connection with scientific and practical tasks.

In recent years, integrated mountain packages (GPI), which are being developed in non-CIS countries, have been widely developed. The GPI provides access to the most common database management systems (DBMS), has a modular structure and stores the results in accepted storage formats. This provides the possibility of subsequent use of the results by other applications. The information core of the GPI is a geological surveying system that solves a wide range of tasks, ranging from the initial processing of surveying surveys and well testing data to construct a DSM and ending with the calculation of reserves, the determination of optimal mine workings and the planning of mining operations. The leading companies in the world market offer the following most popular GPIs: Gemcom Surpac (in 2006, Gemcom completed the acquisition of Surpac Minex Group (*Company GEMCOM, 2006*)), Maptek, Mintec, CAE Mining (in 2010, CAE acquired Data-mine Group (*Trade Press Release, 2010*)) Techbase, IFM.

The Gemcom Surpac system was developed by Canadian company Gemcom Software International Inc. (*GEMCOM, 2008*) and includes various functions, ranging from the input of primary data to block modeling of fields, design and planning of open and underground mining.

The Australian company KJRA Systems, a member of the well-known MARTEK group of companies (*MAPTEK, 2012*), has developed and sells a powerful and rather expensive integrated system "Vulcan", which has a large set of modules for solving various problems in the field of geology, mining, mine surveying, and ecology.

CAE, after its acquisition in April 2010 of the Datamine Group, presents the CAE Mining product as advanced in the field of creating innovative technologies and services for planning, managing and optimizing mining operations (*TECHBASE, 2011*). The company operates in nine countries. CAE Mining offers advanced solutions ranging

from the exploration and management of ore body modeling data to mining planning and operational management.

It is necessary to make a number of general comments regarding foreign integrated systems:

- the systems are designed to work with highly qualified specialists (surveyors, geologists, miners) who have undergone a long training cycle abroad or in consulting firms;
- the systems work effectively only on powerful personal computers or graphic workstations, the cost of which exceeds 25–50 thousand dollars;
- the cost of basic software is up to 25 thousand dollars, and the purchase of an additional set of modules can increase the cost of the package to 100–200 thousand dollars;
- many foreign packages have a complex, un-Russified and not very "friendly" user interface, which does not take into account the peculiarities of the working conditions in domestic practice.

Foreign packages are developed taking into account high versatility in order to maximize profits. No large firm will spend a long time adapting a software product at a specific mining enterprise. If for solving the problems of prospective development of a field development, in most cases, a universal approach can be used and services from design and research institutes can be abandoned, then additional development is required to solve many geological surveying tasks during field operation. Even the module for calculating reserves, which is one of the main ones in the GPI and which determines the cost and efficiency of the system core, cannot claim to be highly versatile.

Integrated automated GSS system has been developed and maintained for many years for the joint Russian-Mongolian enterprise Erdenet (Mongolia), which is developing a copper-molybdenum deposit. The software and algorithmization of the system tasks are constantly being improved. This article shows the latest developments and the ways of development. The scheme of the integrated system of GSSs is shown in fig. 1. Here are 8 main modules of the system.

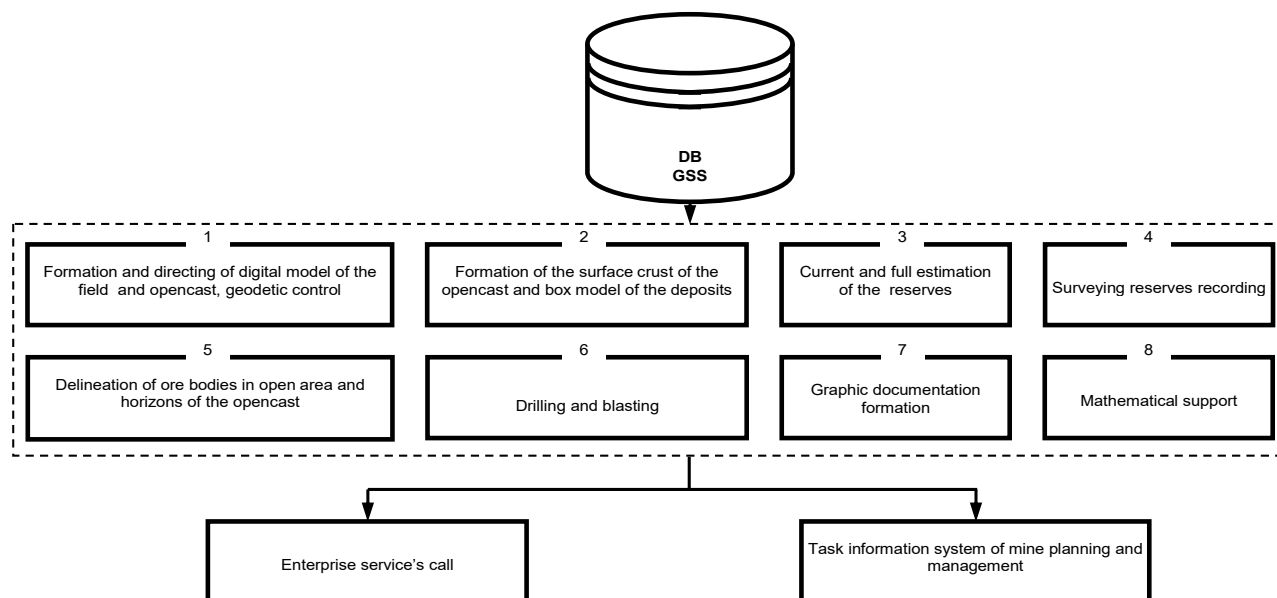


Fig. 1. Scheme of integrated geological surveying system

Studies and publication analysis.

The construction of surfaces is at the heart of many problems.

For the first time in recent years an uneven rational B-spline (NURBS) is used for their description, which most fully satisfies the following criteria:

- adequacy of the model to real representation;
- efficiency of model formation and surface construction;
- visualization of the model in three-dimensional space.

Its usage made it possible to construct a day surface of the opencast (module 2), to improve the full calculation of reserves (module 3), ore output accounting (module 4), and delineation of ore bodies in the horizon of the opencast (module 5).

Formulation of the problem.

Let us give an example of constructing an arbitrary NURBS surface, which, in general form, represents the dependence of $Z = f(X, Y)$. The values of Z can be the marks for constructing the day surface of the opencast; the sampling data for the wells in certain sections of the opencast, and so on.

First, a rectangle, which describes the area under investigation, is constructed. Next, an interpolation network is formed according to a certain index Z with the selected network step. The network step is selected in such a way as to evaluate

the characteristic of the variability of the input data. The value of the indicator under study is determined in the nodes of the network. Various methods of interpolation (reciprocal distances, polynomial, criging point, etc.) are used, the simplest of which is the method of reciprocal distances:

$$Z_A = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i \cdot d_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-\alpha}},$$

where Z_A – is the value of the indicator in the node A ; N – is the number of nearest points; α – is the degree of interpolation; d_i – is the distance between the nearest point and the interpolation node; Z_i – is the value of the indicator at the point closest to the interpolation node.

Then, based on the data of the interpolation network, the nodes of which are breakpoints, a NURBS surface is constructed.

Material and results Presentation.

The result of the construction of B-spline curve based on 11 test points is shown in fig. 2. The order of the polynomial for the construction of the corresponding curve is chosen $m = 4$ (cubic polynomial).

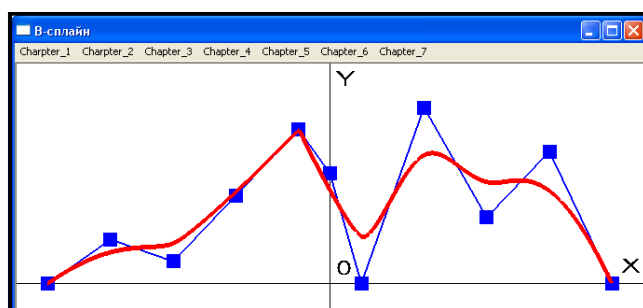


Fig. 2. The result of the construction of B-spline curve using weigh

Let's point out the main benefits of B-spline (Поджерс и Адамс, 2001):

1. Ease of calculation. Connecting function is evaluated in simple recursive manner. It is advisable to use the functions to connect a second or third degree.

2. Local control over the curve. Change in one control point does not affect the change in the curve, and is only in its particular area. This is due to the fact that only a small

number of control points, depending on the degree of the polynomial, affect each connecting function.

3. Using weights to pass through strictly defined locations.

In fig. 3 we are showing the profile of the bench in open pit, described by B-spline, which has repeated the profile of the benches with high accuracy.

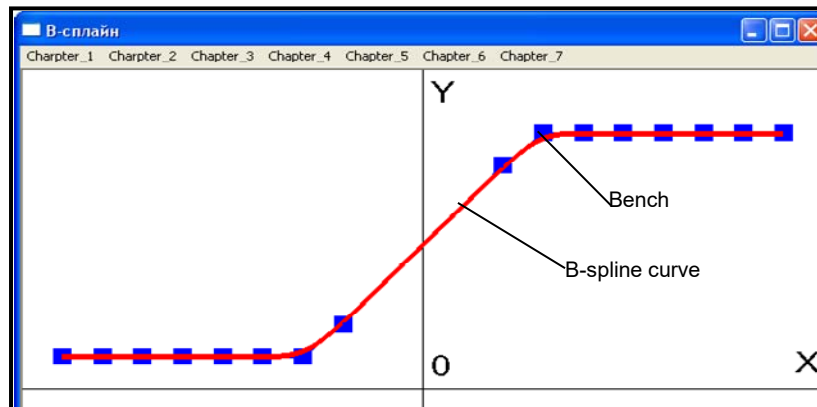


Fig. 3. Profile of the bench described using B-spline

When applying methods of constructing B-spline curves on NURBS-surface, the following formula is used (Хулл, 2002):

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{k=0}^L w_{i,k} P_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)}{\sum_{i=0}^M \sum_{k=0}^L w_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)},$$

where $(M + 1)$ – number of control points on the axis OX (numbered points from 0 to M); $(L + 1)$ – number of control points on the axis OY (numbered points from 0 to L); $P_{i,k} = (X_{i,k}, Y_{i,k}, Z_{i,k})$ – the coordinates of the control points; $w_{i,k}$ – the weight coefficients of control points; $N_{i,m}(u)$ и $N_{k,n}(v)$ – correspondingly connecting B-spline functions in the direction of the axes OX and OY ; m and n , respectively, are the orders of connecting B-spline functions $N_{i,m}(u)$ and $N_{k,n}(v)$; $u \in 0, \dots, u_{max}$ (u_{max} – maximum value in the knot vector u in the direction of the axis OX , equal to $M - m + 2$); $v \in 0, \dots, v_{max}$ (v_{max} – the maximum value of the knot vector v in the direction of the axis OY , equal to $L - n + 2$).

Let us consider the implementation and improvement of some modules of an automated geological surveying system based on the use of B-splines for constructing surfaces (modules 2, 3, 4, 5 in fig. 1).

Module 3 "Current and full estimation of the reserves" uses surface construction for the implementation of full estimation of reserves using the method of vertical sections (Зеленский и др., 2010).

The technique for realizing the full calculation of stocks by the method of vertical sections is as follows.

First, using the mathematical apparatus of B-splines, two surfaces of the opencast are constructed from the initial data of bench edge of the digital open cast models, respectively, at the beginning of the development and the design of the open-pit boundaries of the quarry.

The advantage of constructing the surface of the opencast is the availability, as the initial data, only of the X , Y , Z coordinates of the upper and lower bench marks, which are contained in the digital opencast model (DOCM) (fig. 4). Let us consider the technique of constructing the surface of the opencast using B-splines (Зеленский и др., 2009).

This is done in the following sequence. First, a rectangular area $ABCD$ on the opencast plan is selected from the display screen, as it is shown in fig. 4. Then the rectangle is covered by an accurate regular grid with a given step (in our case, the network step is 10 m).

At the nodes of the network with the coordinates X , Y , the method of squares of the reciprocal distances determines the values of the Z marks with respect to the points of the bench edges.

$$z_{i,k} = \frac{\sum_{j=1}^n z_j r_j^{-2}}{\sum_{j=1}^n r_j^{-2}},$$

where z_j – is the level point, which is the closest to the node being determined; r_j – is the distance from the nearest point to the node; n – is the number of nearest points.

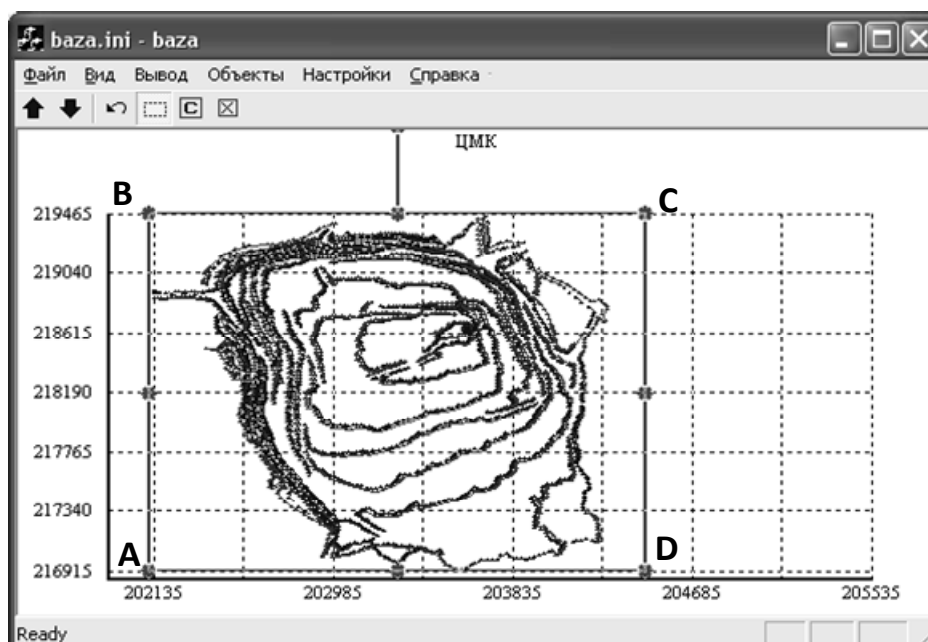


Fig. 4. To the formation of the surface of the opencast

In addition to the Z value, weighting coefficients are formed for the nodes of the network, and for the nodes closest to the level points (at a distance less than half the network step), the X , Y , Z coordinates are adjusted so that the point is shifted to the bench edge. In this case, the number of points in the direction of the OX axis and in the direction of the OY axis is conserved. It is necessary to set the weighting coefficients $w_{i,k}$ of node points in order to construct the NURBS surface using formula (1). All nodes of the network

are assigned a weight equal to 1, except the nodes through which the edges of the bench edges go through. A significantly greater weight (a value of 1000 is assumed) is assigned to these nodes which ensures that the NURBS surface goes strictly through the points of the bench edge.

The result of obtaining the surface of the quarry is shown in fig. 5.

The surface of the project boundaries of the opencast is built in the same way.

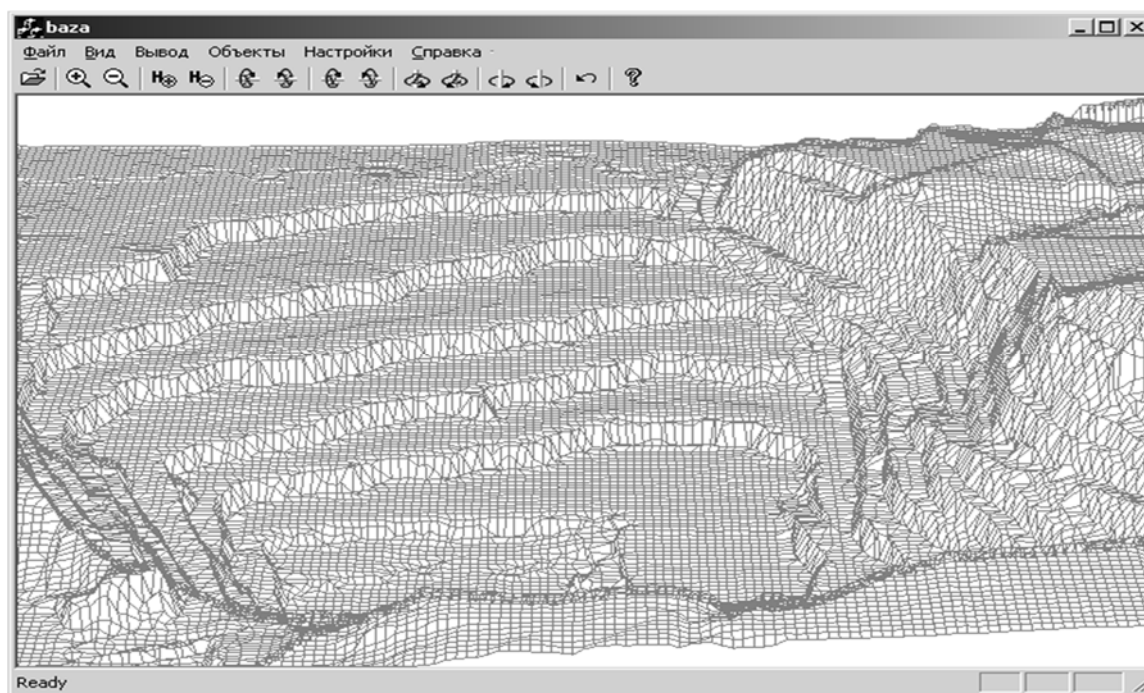


Fig. 5. Surface of the opencast constructed with B-splines

The ore outlines of vertical sections are determined in the next step. Each vertical section is limited from above by the line of intersection of the profile with the surface of the opencast at the beginning of the period, the lateral and lower line of intersection of the profile with the surface constructed along the design boundaries of the opencast.

As a result of the intersection of the profile with the surfaces of the opencast at the beginning of the development and the design boundaries of the opencast, we obtain an ore outline of vertical section.

Vertical sections are covered with an interpolation grid. In each node of the network, the type of ore and the qualitative indices for the nearest drill log of the long hole are estimated. Thus, the pit outline of the ore body is distinguished.

Knowing the area of the ore bodies and the distance between the vertical sections, the full calculation of the reserves is estimated.

In Module 4, "Surveying reserves recording" which is based on the B-spline opencast model, it is possible to perform a full calculation of the extracted rock mass for the reporting period (usually a month). On the daily surface of the opencast before and after mining, it is possible to estimate the total volume of the extracted rock mass as a whole in the opencast, and not only its individual sections.

Based on the model of the daily surface of the opencast, the volume of the extracted rock mass is determined with B-splines. The surface of an opencast in the form of a B-spline is represented by a set of "spatial" quadrilaterals, the coordinates of which, as a rule, are not in the same plane. In the same given rectangular area, which defines the pit limits, two opencast surfaces are constructed – at the beginning and end of the reporting period. In this case, the

X and Y coordinates will be exactly the same for the two surfaces, and only the Z marks will differ.

Further, the volume of the extracted rock mass during the reporting period is calculated using the following formula

$$V = \sum_{i=1}^n (Z_i - Z_{le}) \cdot S_i - \sum_{j=1}^n (Z_j - Z_{le}) \cdot S_j$$

where n – is the number of "spatial" quadrilaterals, Z_i , Z_j – are the average elevations for the coordinates of the i -th (j -th) "spatial" quadrilateral of the surface, respectively, at the beginning and end of the reporting period, Z_{le} – is the lowest elevation of the opencast, S_i , S_j – are the areas i -th (j -th) – quadrangles respectively at the beginning and end of the reporting period.

The expression $(Z_i - Z_{le}) \cdot S_i$ in the formula is the volume of the rock mass in a separate elementary prism, the upper base of which is the "spatial" quadrilateral of the surface, and the lower one is its projection onto the horizontal plane.

In fig. 6, the advance of the mining front (the bench edge) during the reporting period is shown in dark colour.

On the basis of the digital model of the deposit, which contains the coordinates and quality indicators for blasting and exploratory wells strictly along the horizons of the opencast, it is possible to obtain qualitative indicators in these elementary prisms, which allows determining the content of the indices in the extracted rock mass.

The implementation of module 5 "Delineation of ore bodies in open area and horizons of the opencast" is carried out in the following sequence (Зеленский и др., 2011; Зеленский, Лысенко, 2013).

First, the planned horizon is selected with the data of the tested wells, on which the rectangular area to be examined is selected.

In fig. 7. the location of the wells and the data of their testing according to Cu_{ob} , is given, and in fig. 8 interpolated Cu_{ob} , values at nodes of a uniform network covering the rectangular area under investigation are also presented. Similarly, interpolated indices are formed for the second selected indices – Mo_{ob} . These indices are used to construct NURBS surfaces.

Fig. 9 shows the NURBS-surface according to the indicator Cu_{ob} , fig. 10 is its iso-content. Fig. 11 shows the delineation of the ore body by $Cu_{ob} \geq 0,4\%$ and $Mo_{ob} \geq 0,02\%$, where the selected region satisfies simultaneously the established conditions of the two indicators.

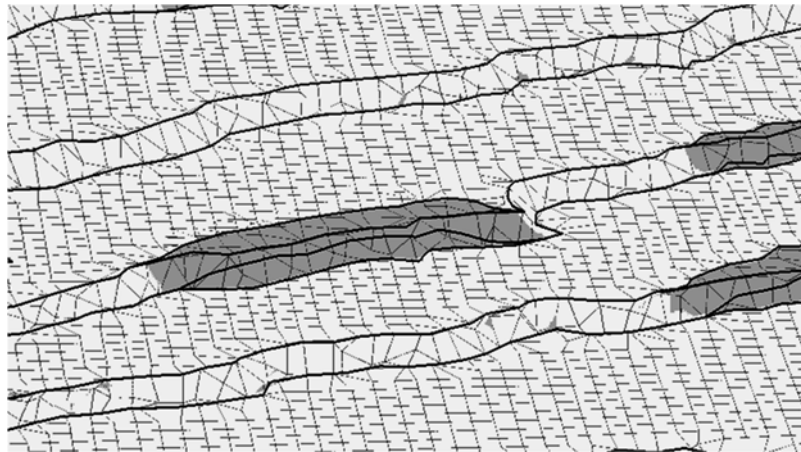


Fig. 6. Promotion of the mining front during the reporting period

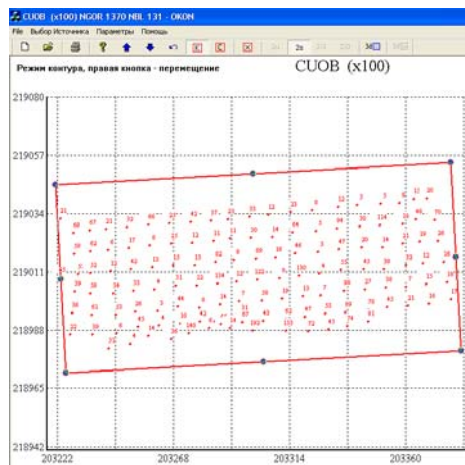


Fig. 7. Well location and their test data for Cu_{ob}

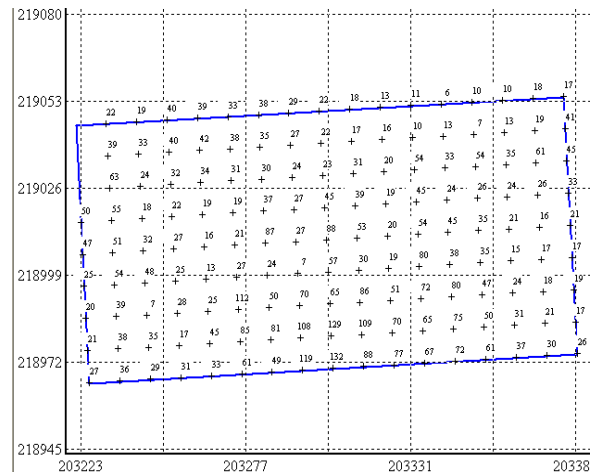


Fig. 8. Interpolated values in the study area

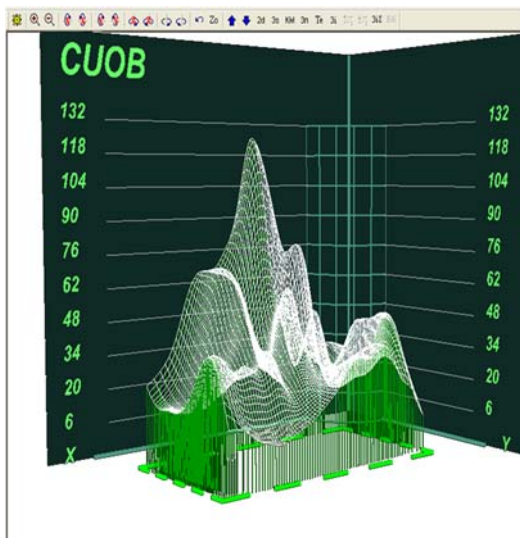


Fig. 9. NURBS – the surface according to Cu_{ob}

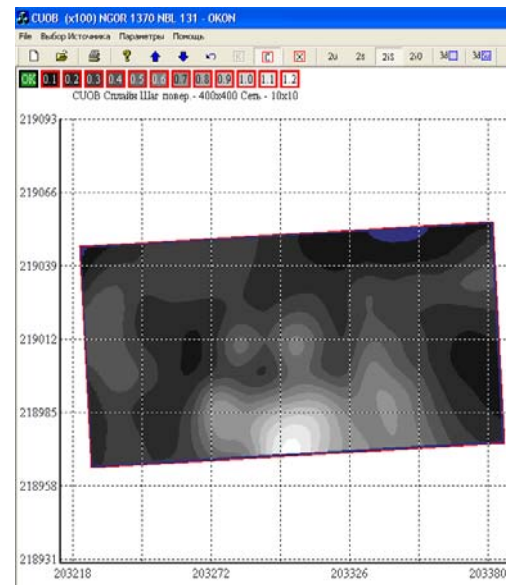


Fig. 10. Isocontent Cu_{ob}

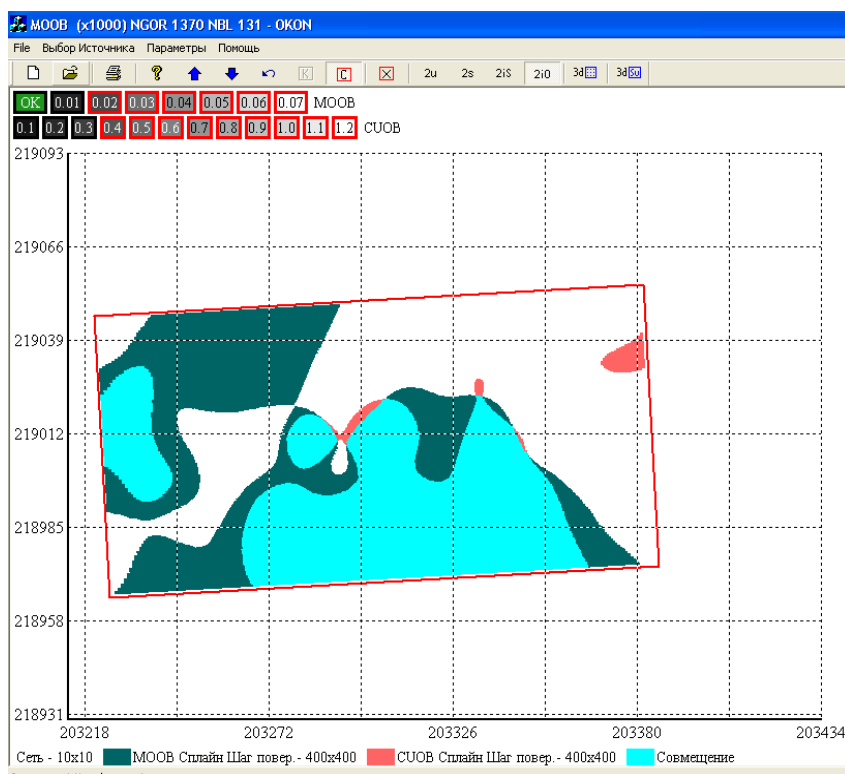


Fig. 11. To delineate ore bodies

The results of ore outline of ore bodies and selected varieties are used in the calculation of reserves and accounting for ore extraction. Decision results of ore outlining are stored in the database, which makes it easy to export them to external applications, for example, into the graphical environment of AutoCAD. Decision results of the solution are displayed on the display screen, printer and plotter.

As previously stated, the implementation of the algorithm for a controlled NURBS surface allows changing the nature of the passage of the surface according to spy points, changing the weight of their influence and shifting them within neighboring points. Such surface properties can be used to model "sharp" transitions between ore body and empty rock.

Conclusions and direction for future research.

The implementation of the software is in C++ and C# for Windows. To build a three-dimensional graphics, OpenGL's open graphics library tools are used. Separate modules of the developed system of GSSs were used at Novokrovyorzhsky and Ingulets Mining and Mineral Processing Plants.

The methodology of constructing of automated GSSs has been tested for many years having positive experience of industrial implementation and can be used for non-ferrous ore and iron ore deposits.

Список використаних джерел

- Зеленский, А.С., Лысенко, В.С., Мельничук, В.И. (2009). Моделирование поверхности карьера с использованием В-сплайнов. *Вісник Криворізького технічного університету*, 23, 50-54.
- Зеленский, А.С., Баран, С.В., Лысенко, В.С., Хивренко, И.В. (2010). Автоматизация полного подсчета запасов на рудных месторождениях. *Вісник Криворізького технічного університету*, 26, 64-68.
- Зеленский, А.С., Пуханов, С.С., Подойницына, Т.А. (2011). Оконтурирование рудных тел с использованием В-сплайнов. *Вісник Криворізького технічного університету*, 27, 59-62.

Зеленский, А.С., Лысенко, В.С. (2013). Построение кривых и поверхностей при решении горно-геометрических задач. *Вісник Криворізького національного університету*, 34, 225-232.

Роджерс, Д., Адамс, Дж. (2001). Математические основы машинной графики.

Хилл, Ф. (2002). OpenGL. Программирование компьютерной графики. Company GEMCOM. (2006). Отримано із <http://www.vistgroup.ru/news/10/2006/25>.

GEMCOM (2008). Отримано із <http://www.gemcomsoftware.com>.

MAPTEK (2012). Отримано із <http://www.maptek.com>.

Trade Press Release. (2010). Отримано із <http://www.cae.com/news/details.ashx?lng=English&location=InvestorsNR&showEvents=False&count=0&id=1017&year=2010>.

TECHBASE. (2011). Отримано із <http://www.techbase.co.nz>.

References

Company GEMCOM. (2006). Retrieved from <http://www.vistgroup.ru/news/10/2006/25>.

GEMCOM (2008). Retrieved from <http://www.gemcomsoftware.com>.

Hill, F. (2002). OpenGL. Programming computer graphics. [in Russian]

MAPTEK (2012). Retrieved from <http://www.maptek.com>.

Rogers, D., Adams, J. (2001). Mathematical Foundations of Computer Graphics. [in Russian]

Trade Press Release. (2010). Retrieved from <http://www.cae.com/news/details.ashx?lng=English&location=InvestorsNR&showEvents=False&count=0&id=1017&year=2010>.

TECHBASE. (2011). Retrieved from <http://www.techbase.co.nz>.

Zelensky, A.S., Lysenko, V.S., Melnichuk, V.I. (2009). Modeling of the surface of the opencast using B-splines. *Scientific Bulletin of Kryvyi Rih Technical University*, 23, 50-54. [in Ukrainian]

Zelensky, A.S., Baran, S.V., Lysenko, V.S., Melnichuk, Khivrenko, I.V. (2010). Automation of full estimation of reserves in ore deposits. *Scientific Bulletin of Kryvyi Rih Technical University*, 26, 64-68. [in Ukrainian]

Zelensky, A.S., Pukhanov, S.S., Podoinitsyna, T.A. (2011). Ore bodies delineation using B-splines. *Scientific Bulletin of Kryvyi Rih Technical University*, 27, 59-62. [in Ukrainian]

Zelensky, A.S., Lysenko, V.S. (2013). Construction of curves and surfaces in the solution of mining-geometric problems. *Scientific Bulletin of Kryvyi Rih National University*, 34, 225-232. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 09.11.18

О. Зеленський, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: zelensky@kneu.dp.ua, тел.: +380965391760
Криворізький економічний інститут ДВНЗ
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана
вул. Медична 16, м. Кривий Ріг, Україна

ВИКОРИСТАННЯ В-СПЛАЙНІВ ПРИ РОЗРОБЦІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ГЕОЛОГО-МАРКШЕЙДЕРСЬКОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Мета. Ефективність розробки інформаційної системи управління кар'єром насамперед визначається рівнем геолого-маркшейдерського забезпечення (ГМЗ), яке включає вирішення таких основних завдань, як підрахунок запасів (оперативний і повний), облік видобутку руд, формування інформаційного базису для планування та управління гірничими роботами, моделювання родовища і кар'єру, оконтурювання рудних тіл тощо. Метою даної роботи є розробка і використання В-сплайнів у процесі автоматизації геолого-маркшейдерського забезпечення в кар'єрі.

Методи дослідження. В основі багатьох завдань використовується побудова поверхонь. Уперше в останні роки для їхнього опису застосовується нерівномірний раціональний В-сплайн (NURBS), який найбільш повно задовольняє такі критерії: адекватність моделі реальному уявленню, оперативність формування моделі й побудови поверхні, наочність відображення моделі в тривимірному просторі.

Наукова новизна. Переваги побудови поверхонь за допомогою NURBS полягають у такому: простота в обчисленні; достатня гладкість; побудова поверхні будь-якого ступеня складності; за допомогою вагових коефіцієнтів контрольних точок можна управляти поверхнею (вона може пройти строго через задані контрольні точки). Остання властивість дозволила за допомогою NURBS-поверхні ефективно моделювати денну поверхню кар'єру при строгому проходженні поверхні через точки бровок уступів.

Практична значимість. Для спільного російсько-монгольського підприємства "Ердэнэт" (Монголія), що розробляє мідно-молибденове родовище, розроблена і протягом багатьох років перебуває в експлуатації інтегрована автоматизована система ГМЗ. Програмне забезпечення та алгоритмізація задач системи постійно вдосконалюються. Наводяться останні її розробки і шляхи розвитку. Використання NURBS дозволило побудувати денну поверхню кар'єру, удосконалити повний підрахунок запасів, облік видобутку руд, оконтурювання рудних тіл по горизонтах кар'єру.

Результати. Реалізацію програмного забезпечення виконано на мовах C++ і C# для Windows. Для побудови тривимірної графіки використовуються інструментальні засоби відкритої графічної бібліотеки OpenGL. Окремі модулі розробленої системи ГМЗ використані на Новокириворізькому і Інгулецькому гірничо-збагачувальних комбінатах. Методологія побудови автоматизованого ГМЗ апробована багаторічним позитивним досвідом промислового впровадження і може бути використана для кольорових рудних і залізрудних родовищ.

Ключові слова: В-сплайн, NURBS-поверхня, моделювання поверхні кар'єру, оконтурювання рудних тіл, облік видобутку руд.

А. Зеленский, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: zelensky@kneu.dp.ua, тел.: +380965391760
Криворожский экономический институт
Киевский национальный экономический университет имени Вадима Гетьмана
ул. Медицинская 16, г. Кривой Рог, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В-СПЛАЙНОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГЕОЛОГО-МАРКШЕЙДЕРСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Цель. Эффективность разработки информационной системы управления карьером прежде всего определяется уровнем геолого-маркшейдерского обеспечения (ГМО), которое включает решение таких основных задач, как подсчет запасов (оперативный и полный), учет добычи руд, формирование информационного базиса для планирования и управления горными работами, моделирование месторождения и карьера, оконтуривание рудных тел и т.д. Целью данной работы является разработка и использование В-сплайнов при автоматизации геолого-маркшейдерского обеспечения в карьере.

Методы исследования. В основе многих задач используется построение поверхностей. Впервые в последние годы для их описания используется неравномерный рациональный В-сплайн (NURBS), который наиболее полно удовлетворяет следующие критерии: адекватность модели реальному представлению, оперативность формирования модели и построения поверхности, наглядность отображения модели в трехмерном пространстве.

Научная новизна. Преимущества построения поверхностей с помощью NURBS состоят в следующем: простота в вычислении; достаточная гладкость; построение поверхности любой степени сложности; с помощью весовых коэффициентов контрольных точек можно управлять поверхностью (она может пройти строго через заданные контрольные точки). Последнее свойство позволило с помощью NURBS-поверхности эффективно моделировать дневную поверхность карьера при строгом прохождении поверхности через точки бровок уступов.

Практическая значимость. Для совместного российско-монгольского предприятия "Эрдэнэт" (Монголия), разрабатывающего мідно-молибденовое месторождение, разработана и в течение многих лет находится в эксплуатации интегрированная автоматизированная система ГМО. Программное обеспечение и алгоритмизация задач системы постоянно совершенствуются. В данной статье приводятся последние ее разработки и пути развития. Использование NURBS позволило построить дневную поверхность карьера, усовершенствовать полный подсчет запасов, учет добычи руд, оконтуривание рудных тел по горизонтам карьера.

Результаты. Реализация программного обеспечения выполнена на языках C++ и C# для Windows. Для построения трехмерной графки используются инструментальные средства открытой графической библиотеки OpenGL. Отдельные модули разработанной системы ГМО использованы на Новокириворізькому і Інгулецькому горно-обогатительных комбінатах. Методологія побудови автоматизованого ГМО апробована багаторічним позитивним досвідом промислового впровадження і може бути використана для кольорових рудних і залізрудних родовищ.

Ключевые слова: В-сплайн, NURBS-поверхность, моделирование поверхности карьера, оконтуривание рудных тел, учет добычи руд.

УДК 550.3 (519.21)

Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,
E-mail: zoya_vyzhva@ukr.net
V. Demidov, PhD (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,
E-mail: fondad@ukr.net
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90, Vasilkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine
A. Vyzhva, PhD (Phys.-Math.), Senior Researcher,
E-mail: motomustanger@ukr.net
SE "Nauknaftogaz"

STATISTICAL SIMULATION OF RANDOM FIELD ON 2D AREA WITH WHITTLE-MATERN TYPE CORRELATION FUNCTION IN THE GEOPHYSICAL PROBLEM OF ENVIRONMENT MONITORING

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

Due to the increasing number of natural and technogenic disasters the development of geological environment monitoring system is actual one using modern mathematical tools and information technology. The local monitoring of potentially dangerous objects is an important part of the overall environment monitoring system.

The complex geophysical research was conducted on Rivne NPP area. The monitoring observations radioisotope study of soil density and humidity near the perimeter of buildings is of the greatest interest among these.

In this case a problem occurred to supplement simulated data that were received at the control of chalky strata density changes at the research industrial area with use of radioisotope methods on a grid that included 29 wells.

This problem was solved in this work by statistical simulation method that provides the ability to display values (the random field of a research object on a plane) in any point of the monitoring area. The chalk strata averaged density at the industrial area was simulated using the built model and the involvement optimal in the mean square sense Whittle-Matern type correlation function.

In this paper the method is used and the model and procedure were developed with enough adequate data for Whittle-Matern type correlation function.

The model and algorithm were developed and examples of karst-suffusion phenomena statistical simulation were given in the problem of density chalk strata monitoring at the Rivne NPP area. The statistical model of averaged density chalk strata distribution was built in the plane and statistical simulation algorithm was developed using Whittle-Matern type correlation function on the basis of spectral decomposition. The research subject realizations were obtained with required detail and regularity at the observation grid based on the developed software. Statistical analysis of the numerical simulation results was done and tested for its adequacy.

Keywords: statistical simulation, Whittle-Matern type correlation function, spectral decomposition, conditional maps.

Introduction. Due to the increasing number of dangerous natural and technogenic disasters the development of geological environment monitoring system is actual one using modern mathematical tools and information technology. The local monitoring of potentially dangerous objects is an important part of the overall environment monitoring system. When monitoring such objects, a lot of problems were raised, for example, such as the lack of some data in the database, or insufficient quantity or necessity to supplement the database without conducting additional research.

The Department of Geophysics at Institute of Geology and involved experts from Mechanics and Mathematics Faculty of Kyiv National Taras Shevchenko University in recent years developed theoretical and methodological application basics of statistical simulation in the development of geological environment monitoring.

Theoretical aspects of capacity use of statistical simulation to solving problems in the work of Geophysics considered in (Yadrenko, 1983; Grikh (Vyzhva) et al., 1993; Vyzhva, 2003; 2011). Practical testing on real data density chalky strata on the territory of the Rivne NPP was carried out for the fields on the plane – in the (Vyzhva et al., 2004), by using only Bessel correlation function and Cauchy correlation function (Vyzhva et al., 2014; 2017).

In this paper, the statistical simulation method is proposed to be used with the model and procedure involving enough adequate in the mean square sense data Whittle-Matern type correlation function (Gneiting et al., 2010).

Note, that methods of random fields statistical simulation used in geosciences problems were considered in such works as: (Chiles and Delfiner, 2012; Gneiting, 1997; Gneiting et al., 2010; Mantoglov and Wilson, 1981; Wackernagel, 2003; Prigarin, 2005; Vyzhva et al., 2010; 2014; 2017) and other.

Problem of karst-suffusion phenomena monitoring at Rivne NPP area. The complex geophysical research was conducted on Rivne NPP area. The radioisotope study of soil

density and humidity near the perimeter of buildings is of the greatest interest among these monitoring observations. The soil density was determined by gamma-gamma well logging, soil humidity – by neutron-neutron logging.

In this case (Vyzhva et al., 2017) a problem occurred to supplement simulated data that were received at the control of chalky strata density changes at the research industrial area with use of radioisotope methods on a grid that included 29 wells. Schematic representation of the measurement results at the object that was investigated, and the well locations are shown on fig. 1. These data are obviously not enough to represent the overall picture of the chalk strata, where due to the aggressive water action the karst-suffusion processes were significantly intensified.

This problem was solved in works: (Vyzhva et al., 2004; 2014; 2017) by statistical simulation method that provides the ability to display values (random field on a plane) in any point of the monitoring area. The chalk strata averaged density at the industrial area was simulated using the built model and the involvement of the Bessel type correlation function (Vyzhva et al., 2004) and Cauchy correlation function (Vyzhva et al., 2004; 2014; 2017).

This paper continues development of methods for statistical simulation, involving optimal in the mean square sense Whittle-Matern type correlation function that is well-known in geostatistic works (Chiles and Delfiner, 2012; Gneiting, 1997; Gneiting et al., 2010).

This operation was done for data array of density chalk strata in 1984–2002 years' for 29 wells at Rivne NPP industrial area and depth is 28 m below the surface.

The method of solving the problem. Data of density chalky strata was divided (Vyzhva et al., 2017) into deterministic and random components. Deterministic function can be selected by the method of approaching the minimum curve (separation of the trend). The difference between the map of input density values and the trend is a homogeneous isotropic random field in most cases. With the

assumption that the input data is a random field $\eta(\bar{x})$, then we express them through a random component $\xi(\bar{x})$ (so-called "noise" random field) and trend $f(\bar{x})$ as a deterministic function as follows: $\eta(\bar{x}) = f(\bar{x}) + \xi(\bar{x})$.

Thus, the problem has been reduced to simulation of random component $\xi(\bar{x})$, which in most cases is a homogeneous and isotropic.

We consider the same approach as in works: (Grikh (Vyzhva) et al., 1993; Vyzhva et al., 2004; Vyzhva, 2011). We use the method of statistical simulation of random fields,

which are homogenous and isotropic, based on their spectral decomposition. By means of the obtained values of realizations, this technique allows finding the perfect image of these isotropic fields in the whole observation interval.

It is necessary to make the statistical analysis to build the model and procedure of statistical data simulation at observation area. If the verified data has distribution density with approximately Gaussian type, then procedure can be used, which is developed in (Grikh (Vyzhva) et al., 1993; Vyzhva et al., 2004; Vyzhva, 2011), to generate on the computer realizations of the simulated data by means of standard normal random variable sequences.

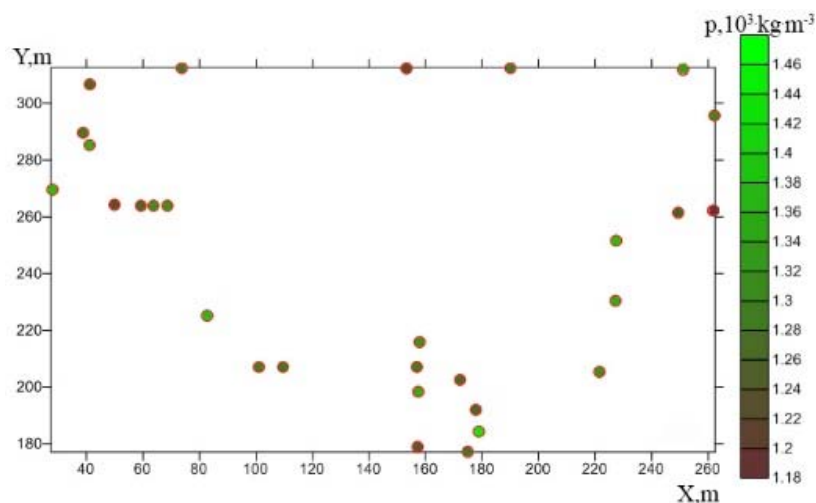


Fig. 1. Observation points and chalk strata averaged density at industrial area of Rivne NPP

At first the distribution is determined. The preliminary statistical analysis of data shows that the distribution histogram of chalky strata density at the Rivne industrial area (29 boreholes) approximately has Gaussian distribution (fig. 2).

The use of authors' techniques of statistical simulation implies preliminary statistical data processing to determine its statistical characteristics: the mathematical

expectation and the correlation function. If the hypothesis of Gaussian distribution of the investigated field is confirmed, then the mathematical expectation and the correlation function completely define this field and give us the opportunity to build the adequate statistical model, which is based on spectral decomposition of random functions. The principles of constructing the models and procedures are described below.

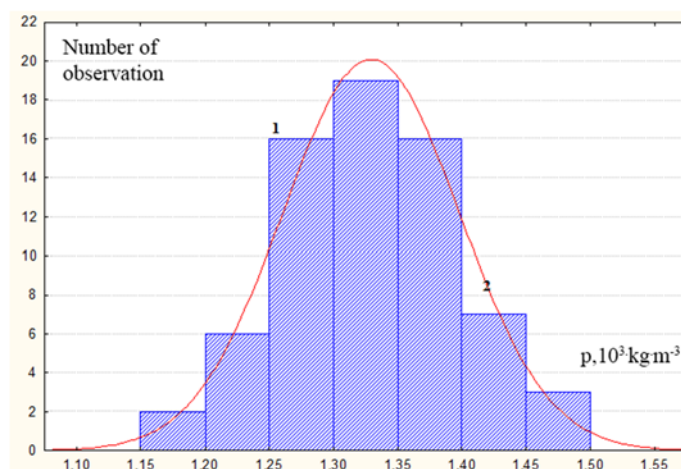


Fig. 2. Histogram of the chalky strata density (averaged data for all years of observation). 1 – the number of observations in a separate range of density; 2 – theoretical Gaussian curve

Then statistical models were chosen for the data correlation function $B(\rho)$ (ρ – the distance between vectors $x, y \in R^2$ ($x = (r_1, \theta_1), y = (r_2, \theta_2)$)), for distribution of chalky strata density in the flat observation area. This function is

defined by comparing the mean square approximation of the empirical and theoretical variograms. As result, the input data was most adequately described by means of 4 types of correlation functions: the holeeffectcorrelation function (1) at the value of parameter $c = 1,4$, the Bessel correlation

function (2) at the value of parameter $a = 5$, the Cauchy correlation function (3) at the value of parameter $a = 1$ and the Whittle-Matern type correlation function (4) at the value of parameter $c = 0,00333$

$$B(\rho) = \exp(c\rho) \cos(c\rho), \quad c = 1,4; \quad (1)$$

$$B(\rho) = J_0(a\rho), \quad a = 5; \quad (2)$$

where $J_k(x)$ is the Bessel function of the first kind of order $k = 0$.

$$B(\rho) = \frac{a^4}{(a^2 + \rho^2)^2}, \quad a = 1, \quad (3)$$

$$B(\rho) = \frac{2^{1-\frac{3}{2}}}{\Gamma(\frac{3}{2})} (c\rho)^{\frac{3}{2}} K_{\frac{3}{2}}(c\rho), \quad c = 0,00333; \quad (4)$$

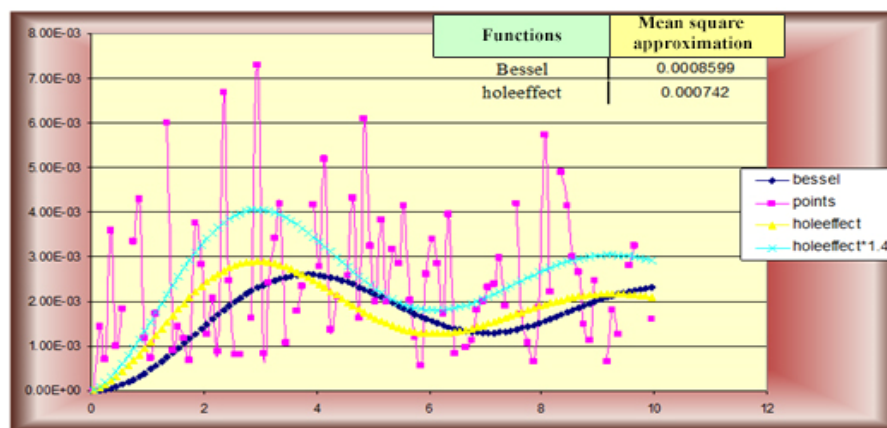
where $\Gamma(t)$ is a Gamma function, $K_{3/2}(z)$ is a modified Hankel function of order 3/2 and c is parameter.

Variograms of input chalky strata density data was built by using the R software and geoR package. They correspond to the: holeeffect (1) correlation function (the mean square approximation is 0,000742); Bessel (2) correlation function (the mean square approximation is 0,0008599); Cauchy (3) correlation function (the mean square approximation is 0,002816); Whittle-Matern type correlation function (4) (the mean square approximation is 0,000311). Variograms plots were presented at figure 3, according to all types of correlation functions for the random component of investigation data.

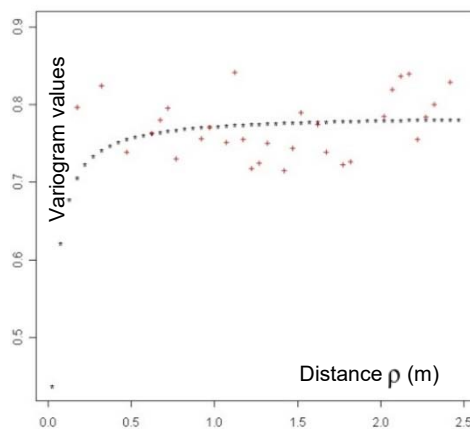
Note that the generalized Whittle-Matern type model of correlation function is:

$$B_v(\rho) = \frac{2^{1-v}}{\Gamma(v)} (c\rho)^v K_v(c\rho), \quad c > 0, \quad v \geq 0. \quad (5)$$

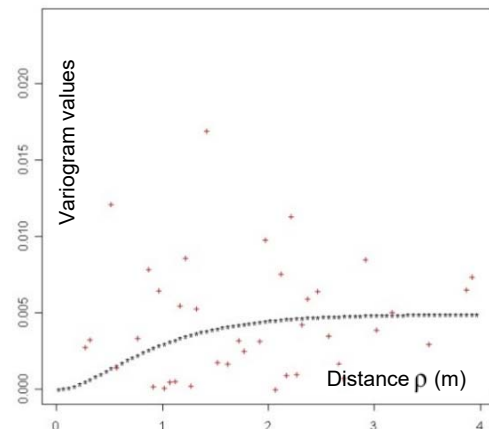
where $K_v(z)$ is a modified Hankel function of order v and c is parameter.



a



b



c

Fig. 3. Variograms of input data of the chalky strata, that corresponding to the:

a – the holeeffect (1) correlation function; the Bessel (2) correlation function; b – the Cauchy (3) correlation function; c – the Whittle-Matern type (4) correlation function

The generalized Whittle-Matern type model (4) was studied by (Gneiting, 1997; Gneiting et al., 2010) who considered the Whittle-Matern type function at the values of the parameter $\nu = 1/2, 3/2, 5/2, 7/2$.

Graphic representations of the Whittle-Matern type function at different values of parameters $\nu = 0,065, 0,1, 0,25, 0,5, 1, 2, 4$ and 25 and at $c = 1$ are presented in fig. 4 (Abrahamsen, 1997).

Let us find the spectral density, corresponding to the Whittle-Matern type correlation function (4), by using the formula on page 449 (Watson, 1949). This formula is mentioned below as integral Veber-Shafheitlin type:

$$\int_0^\infty K_\mu(ax) J_\nu(bx) x^{\mu+\nu+1} dx = (2a)^\mu (2b)^\nu \frac{\Gamma(\mu+\nu+1)}{(a^2+b^2)^{\mu+\nu+1}}, \quad (6)$$

$$\operatorname{Re}(a) > I(b), \operatorname{Re}(\mu) < \operatorname{Re}(2\nu + \mu + 2).$$

where $\Gamma(t)$ is a Gamma function.

Then such spectral density is calculated by conducting the following formula:

$$\begin{aligned} f(\lambda) &= \lambda \int_0^{\infty} x J_0(\lambda x) B(x) dx = \\ &= \lambda \sqrt{2/\pi} \int_0^{\infty} x^{5/2} J_0(\lambda x) K_{3/2}(cx) dx, \end{aligned} \quad (7)$$

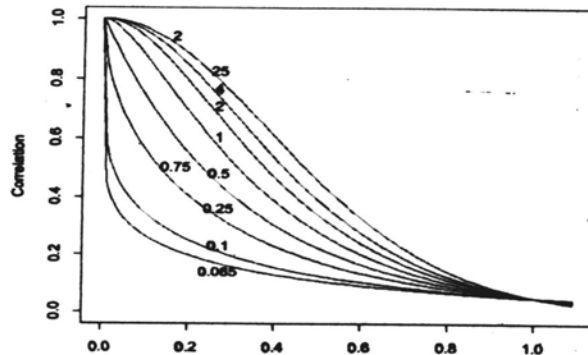


Fig. 4. The Whittle-Matern type function (3) at parameter values $c = 1$ and $v = 0.065, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4$ and 25 and exponential function $B(\rho) = ae^{-a\rho}$ at parameter values $a = 0.75, 2$

The spectral coefficients, that corresponding to such Whittle-Matern type correlation function (4), are determined by calculating the integral:

$$\begin{aligned} b_k(r) &= 2 \int_0^{\infty} J_k^2(r\lambda) f(\lambda) d\lambda = \\ &= 6c^{3/2} \int_0^{\infty} J_k^2(r\lambda) \frac{\lambda}{(c^2 + \lambda^2)^{5/2}} d\lambda, k = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (9)$$

These spectral coefficients are calculated by Mathematica software.

The model of random field on 2D area with the Whittle-Matern type correlation function and the numerical simulation procedure. We generated the realizations of random field on 2D area with the Whittle-Matern type correlation function (3) at the values of parameter $c = 0.00333$. The statistical simulation was performed by the technique of spectral decomposition and finding of spectral coefficients.

From the spectral theory (Vyzhva, 2011) it follows that the model of random fields on a plane with such correlation functions is a sum of:

$$\xi_N(r, \varphi) = \sum_{k=0}^N \sqrt{v_k} [\zeta_{k,1}(r) \cos(k\varphi) + \zeta_{k,2}(r) \sin(k\varphi)], \quad (10)$$

where: $v_k = \begin{cases} 1, k = 0; \\ 2, k > 0, \end{cases}$

• r and φ ($r \in R_+$, $\varphi \in [0, 2\pi]$) are polar coordinates of the point x on the plane (includes observation area), and the distance ρ between the points $x_1 = (r_1, \varphi_1)$ and $x_2 = (r_2, \varphi_2)$ is equals $\rho = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$;

• N is an integer number (the number of the summands in the model), the value of N is determined by the prescribed small number ε (approximation accuracy) by the inequality from paper (Grikh (Vyzhva) et al., 1993), which is the estimate of the mean square approximation of random field $\xi(r, \varphi)$ by partial sums $\xi_N(r, \varphi)$;

where $B(\rho)$ is correlation function

Thus, this spectral density we obtain by using (6) and we have :

$$f(\lambda) = \lambda \sqrt{2/\pi} \frac{(2c)^{3/2} \Gamma(\frac{5}{2})}{(c^2 + \lambda^2)^{5/2}} = \lambda \frac{3c^{3/2}}{(c^2 + \lambda^2)^{5/2}}, \quad (8)$$

• $b_k(r)$, ($k = 0, 1, 2, \dots, N$) are the spectral coefficients in form of (9), which corresponding to the Whittle-Matern type correlation function (4);

• $\{\zeta_{k,i}(r), i = 1, 2; k = 0, 1, 2, \dots, N\}$ are these sequences of standard normal random variables, such that satisfying the following conditions:

$$1) M \zeta_{k,i}(r) = 0, i = 1, 2; k = 0, 1, 2, \dots, N; \quad (11)$$

$$2) M \zeta_{k,l}(r) \zeta_{k',l'}(r) = \delta_{k,k'}^l \delta_{l,l'}^k b_k(r), l = 1, 2; k = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (12)$$

The procedure of numerical simulation the realizations of the data field random component, by means of the abovementioned model (10), was conducted by using the Spectr 2.1 software, which is described in (Vyzhva et al., 2004).

The value of number N for the constructed model is determined by the inequality, which is the estimate of the mean square approximation of random field $\xi(r, \varphi)$ by partial sums $\xi_N(r, \varphi)$. This number N corresponds to the prescribed small number ε (approximation accuracy). The mentioned inequality was obtained in work (Grikh (Vyzhva) et al., 1993) and in form of:

$$M[\xi(r, \varphi) - \xi_N(r, \varphi)]^2 \leq \frac{1}{\pi N} \left(\frac{1}{2} r \mu_1 + r^2 \mu_2 \right), \quad (13)$$

where $\mu_k = \int_0^{\infty} \lambda^k f(\lambda) d\lambda, k = 1, 2$.

Define dependence number N on r and ε in the case of Whittle-Matern type correlation function (4). It is necessary to calculate the values of $\mu_k, k = 1, 2$ for the inequality (13), by using the density of distribution (8).

Then the calculated values hold:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 3c^{3/2} \int_0^{\infty} \frac{x^2}{(c^2 + x^2)^{5/2}} dx = 3c, \\ \mu_2 &= 3c^{3/2} \int_0^{\infty} \frac{x^3}{(c^2 + x^2)^{5/2}} dx = 6c^{3/2} \sqrt{c} = 6c^2. \end{aligned} \quad (14)$$

Consequently, the estimate of the mean square approximation of the random field $\xi(r, \varphi)$ with Whittle-Matern type correlation function (4) by the partial sums $\xi_N(r, \varphi)$ has the following representation:

$$N(r, \varepsilon) \geq \frac{1}{\pi \varepsilon} \left(\frac{1}{2} r \mu_1 + r^2 \mu_2 \right) = \frac{3}{\pi \varepsilon} \left(\frac{1}{2} c r + 2 c^2 r^2 \right). \quad (15)$$

The statistical simulation procedure of Gaussian homogeneous isotropic random field $\xi(r, \varphi)$ on the plane with Whittle-Matern type correlation function (4) was built by means of the model (10) and the estimate (15). This random field is determined by its statistical characteristics: the mathematical expectation and the Whittle-Matern type correlation function $B(\rho)$ (4) at the value of parameter $c = 0,00333$.

Procedure.

1) The positive integer number N is determined corresponding to the prescribed accuracy ε and by using inequality (15), where r is a radius of the point on the plane, in which the realization of the random field $\xi(r, \varphi)$ is generated. The integer number N equals 8 by using the prescribed accuracy $\varepsilon = 5 \times 10^{-2}$ and values of parameters $v = 3/2$, $c = 0,00333$.

2) We calculated the spectral coefficients by formula (9) at the value of parameter $c = 0,00333$:

$$b_k(r) = 6c^{\frac{3}{2}} \int_0^\infty J_k^2(r\lambda) \frac{\lambda}{(c^2 + \lambda^2)^{\frac{5}{2}}} d\lambda, k = 0, 1, 2, \dots, 8.$$

3) We generate values of the normal random variables sequences $\{\zeta_{k,i}(r), i = 1, 2; k = 0, 1, 2, \dots, N(r, \varepsilon)\}$, such that satisfying the conditions (11) and (12);

4) We calculate the realization of the random field $\xi(r, \varphi)$ in 100 points $(r_i, \varphi_j), i = 1, \dots, 10; j = 0, \dots, 9 \in R^2$ and evaluated the expression (10) by substituting in it values which were found in the previous steps, $r_i = 181,32 + 20 \times i, i = 1, \dots, 10$;

$$\varphi_j = \varphi_0 + j \times \frac{2\pi}{10}, j = 0, \dots, 9.$$

5) The statistical estimate of the correlation function is obtained by the realizations of the random $\xi(r, \varphi)$. This estimate compares with a given Whittle-Matern type(4) correlation function at $c = 0,000333$ and provides the statistical analysis the adequacy of realization.

Note that the procedure can be applied to random fields with another type of distribution. Then the sequences of random variables $\{\zeta_{k,i}(r), i = 1, 2; k = 0, 1, 2, \dots, N(r, \varepsilon)\}$ should be distributed by corresponding type of distribution.

The original Spectr software, based on the results of the statistical data processing and the mentioned procedure for the simulation values of such data realization in the two-dimensional case, was developed in Python, where selected Whittle-Matern type correlation function (4) was used.

The results, which were obtained by the simulating procedure, are displayed in figure 5. Figure 5, a presents an example of constructed chalky strata density map according to observations data boreholes (averaged data over the years to 29 boreholes at 28 m) by Surfer software. Using available data the accuracy of this construction can not provide a reliable characteristic of the chalky strata status, because the number of measurement results is not sufficient.

Fig. 5, b presents the contours of equal chalky strata density values that based on simulated data including values of the anchor boreholes by means of calculating the spectral coefficients. Additionally, the output data (100 simulated values in intervals between the observation points of this level) can have more reliable approximation that enables more informed decisions about the status of chalky strata and determines places for testing and additional research.

The following fig. 6 presents the plot of the variogram of the separated random data component of chalky strata density according to the Whittle-Matern type correlation functions (4) (fig. 6, a) and plot of the variogram of the simulated random data component according to the Whittle-Matern type correlation functions (4) (fig. 6, b).

The results present that the chosen model of the data is enough adequate. The developed Spectr2_1 software works with sufficient accuracy.

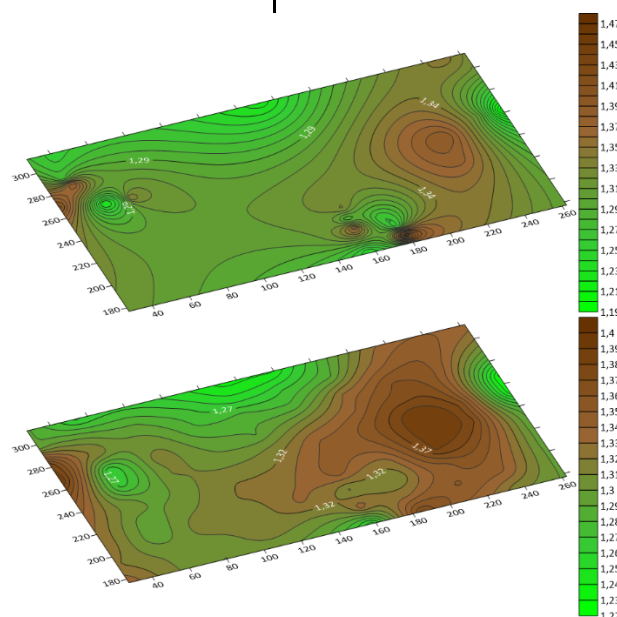


Fig. 5. The distribution of chalky strata density is on the industrial area of Rivne nuclear power plant at a depth of 28 m. from the surface, according to (a) the averaged data of 29 observational boreholes over 1984–2004 years., for (b) the simulated data that based on the values in secure boreholes by spectral coefficients the Whittle-Matern type

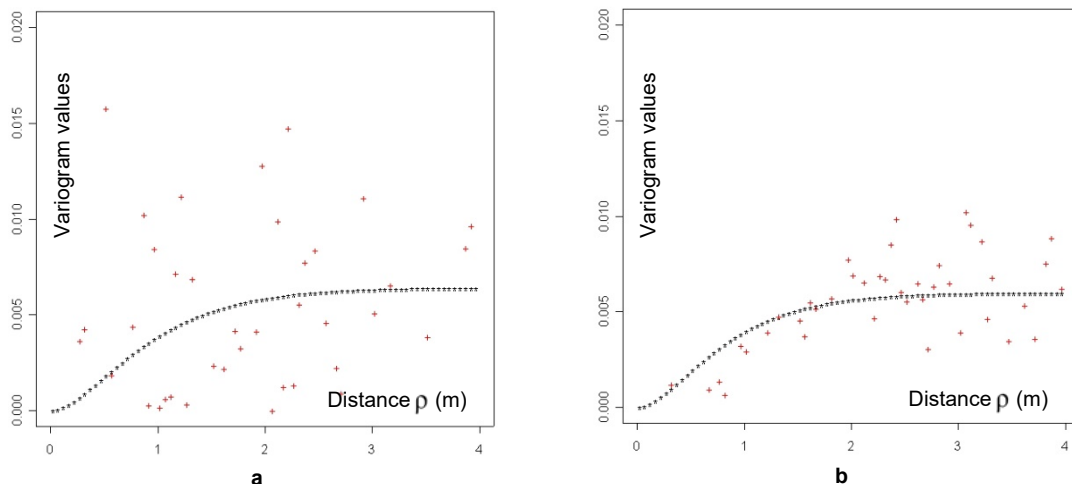


Fig. 6. The variogram of separated (a) and of simulated (b) random data component of the chalky strata density, corresponding to Whittle-Matern type correlation function at values of parameters $\nu = 3/2$ and $c = 0,00333$

Conclusions. The theory, techniques and procedure of statistical simulation of random fields on the plane by using optimal in the mean square sense the Whittle-Matern type correlation function can significantly increase the effectiveness of monitoring observations on the territory of potentially dangerous objects. This makes it possible to simulate the values in the area between regime observation grids and abroad, adequately describe real geological processes.

The method of statistical simulation of random fields with the Whittle-Matern correlation functions allows complementing data with a given accuracy. It can also be used to detect abnormal areas.

There are several other fields of statistical simulation methods application in geosciences. Among them primary are soil science and environmental magnetism (Menshov et al., 2015).

Список використаних джерел

- Вижва, З.О. (2011). Статистичне моделювання випадкових процесів та полів. Київ: Обрії.
- Вижва, З.О., Демидов, В.К., Вижва, А.С. (2004). Статистичне моделювання карстово-суфозійних процесів на території потенційно небезпечних об'єктів. *Геоінформатика*, 2, 78-85.
- Вижва, З.О., Демидов, В.К., Вижва, А.С. (2010). Статистичне моделювання випадкових полів в задачах геофізики. *IX міжнародна наукова конференція "Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти"*.
- Вижва, З.О., Демидов, В.К., Вижва, А.С. (2014). Дослідження густини крейдяної товщі методом Монте-Карло на промйайданчику Рівненської АЕС із застосуванням моделі Коші. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 2 (65), 62-67.
- Пригарин, С. М. (2005). Методы численного моделирования случайных процессов и полей. Новосибирск: Изд-во ИВМ и МГ.
- Abrahamsen, P.A. (1997). Review of Gaussian Random Field and Correlation Functions. Second Edition. Norway, Oslo, Norw. Comp. Center.
- Chiles, J.P., Delfiner, P. (2012). Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty. 2-nd ed. New York, Toronto: John Wiley & Sons.
- Gneiting, T. (1997). Symmetric Positive Definite Functions with Applications in Spatial Statistics. Von der Universität Bayreuth zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung.
- Gneiting, T., Kleiber, W., Schlather, M. (2010). Matérn cross-covariance functions for multivariate random fields. *Journal of the American Statistical Association*, 105, 1167-1177.
- Grikh (Vyzhva), Z., Yadrenko, M., Yadrenko, O. (1993). About Approximation and Statistical Simulation of Isotropic Fields. *Random Operators and Stochastic Equations*, 1, 1, 37-45.
- Mantoglov, A., Wilson, John L. (1981). Simulation of random fields with turning bands method. MIT Ralph M. Parsons Lab. Hydrol. and Water Syst. Rept. 264.
- Menshov, O., Kuderavets, R., Vyzhva, S., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2015). Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59, 614-627.
- Vyzhva, Z.O. (2003). About Approximation of 3-D Random Fields and Statistical Simulation. *Random Operator and Stochastic Equation*, 4, 3, 255-266.
- Vyzhva, Z.O., Demidov, V.K., Vyzhva, A.S., Fedorenko, K.V. (2017). Statistical simulation of 2D random field with Cauchy correlation functions in

the geophysics problem of environment monitoring. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1 (76), 93 – 99.

Wackernagel, H. (2003). Multivariate Geostatistics, third edition. Berlin: Springer-Verlag.

Watson, G.N. (1949). A treatise on the theory of Bessel functions. 2nd ed. Cambridge University Press. (Russ. ed.: Watson, G.N. (1949). Теорія бessel'євських функцій, Moscow, Inostrannaya literatura Publ.).

Yadrenko, M.Y. (1983). Spectral theory of random fields. Optimization Software Inc., Publications Division, New York.

References

- Abrahamsen, P.A. (1997). Review of Gaussian Random Field and Correlation Functions. Second Edition. Norway, Oslo, Norw. Comp. Center.
- Chiles, J.P., Delfiner, P. (2012). Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty. 2-nd ed. New York, Toronto: John Wiley & Sons.
- Gneiting, T. (1997). Symmetric Positive Definite Functions with Applications in Spatial Statistics. Von der Universität Bayreuth zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung.
- Gneiting, T., Kleiber, W., Schlather, M. (2010). Matérn cross-covariance functions for multivariate random fields. *Journal of the American Statistical Association*, 105, 1167-1177.
- Grikh (Vyzhva), Z., Yadrenko, M., Yadrenko, O. (1993). About Approximation and Statistical Simulation of Isotropic Fields. *Random Operators and Stochastic Equations*, 1, 1, 37-45.
- Mantoglov, A., Wilson, John L. (1981). Simulation of random fields with turning bands method. MIT Ralph M. Parsons Lab. Hydrol. and Water Syst. Rept. 264.
- Menshov, O., Kuderavets, R., Vyzhva, S., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2015). Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59, 614-627.
- Prigarin, S.M. (2005). Numerical Modeling of Random Processes and Fields. Novosibirsk: Inst. of Comp. Math. and Math. Geoph. Publ.
- Vyzhva, Z.O. (2003). About Approximation of 3-D Random Fields and Statistical Simulation. *Random Operator and Stochastic Equation*, 4, 3, 255-266.
- Vyzhva, Z.O. (2011). The Statistical Simulation of Random Processes and Fields. Kyiv: Obrii. [In Ukrainian]
- Vyzhva, Z.O., Demidov, V.K., Vyzhva, A.S. (2010). The statistical simulation of random fields on the plane in the problems of geophysics. *9th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*. [In Ukrainian]
- Vyzhva, Z.O., Demidov, V.K., Vyzhva, A.S. (2014). Monte Carlo method and Cauchy model identifying chalk layer density on Rynve NPP. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2 (65), 62-67. [In Ukrainian]
- Vyzhva, Z.O., Demidov, V.K., Vyzhva, A.S., Fedorenko, K.V. (2017). Statistical simulation of 2D random field with Cauchy correlation functions in the geophysics problem of environment monitoring. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1 (76), 93-99.
- Vyzhva, Z.O., Vyzhva, S.A., Demidov, V.K. (2004). The statistical simulation of karst suffusion processes on territory potentially dangerous objects. *Geoinformatica*, 2, 78-85. [In Ukrainian]
- Wackernagel, H. (2003). Multivariate Geostatistics, third edition. Berlin: Springer-Verlag.
- Watson, G.N. (1945). A treatise on the theory of Bessel functions. 2-nd ed. Cambridge University Press. (Russ. ed.: Watson, G.N. (1949). Теорія бessel'євських функцій, Moscow, Inostrannaya literatura Publ.).
- Yadrenko, M.Y. (1983). Spectral theory of random fields. Optimization Software Inc., Publications Division, New York.

З. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.
E-mail: zoia_vyzhva@ukr.net,
В. Демидов, канд. фіз.-мат. наук, доц.
E-mail: fondad@ukr.net
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
А. Вижва, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: motomustanger@ukr.net
ДП "Науканафтогаз"

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВОГО ПОЛЯ НА ПЛОСКІЙ ОБЛАСТІ З КОРЕЛЯЦІЙНОЮ ФУНКЦІЄЮ ТИПУ УІТТЛІ-МАТЕРНА В ГЕОФІЗИЧНІЙ ЗАДАЧІ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

У зв'язку з ростом кількості природно-техногенних катастроф актуальною є розробка систем моніторингу за станом геологічного середовища з використанням сучасного математичного апарата та інформаційних технологій. У загальній системі моніторингу довкілля важливою складовою є локальний моніторинг територій розташування потенційно небезпечних об'єктів.

На території розміщення Рівненської АЕС проводиться комплекс геофізичних досліджень. Серед таких моніторингових спостережень найбільший інтерес являють собою радіоізотопні дослідження густини та вологості ґрунтів по периметру збудованих споруд. При цьому виникла проблема доповнення моделюванням даних, які отримано в результаті контролю зміни густини крейдяної товщі на території досліджуваного промайданчика з використанням радіоізотопних методів по сітці, що включала 29 свердловин. Таку проблему було розв'язано в роботі методом статистичного моделювання, який надає можливість відобразити явище (випадкове поле об'єкта дослідження на площині) у будь-якій точці зони спостереження. При цьому моделювалися усереднені значення густини крейдяної товщі на території промайданчика з використанням побудованої моделі та залученням оптимальної у середньому квадратичному наближенні кореляційної функції типу Уіттлі-Матерна.

Розроблено алгоритм і приклад статистичного моделювання карстово-суфозійних явищ у задачі моніторингу густини крейдяної товщі на території Рівненської АЕС. За спектральним розкладом побудовано статистичну модель розподілу усередненої густини крейдяної товщі на площині та розроблено алгоритм статистичного моделювання з використанням функції типу Уіттлі-Матерна. На базі розробленого програмного забезпечення отримано реалізації предмета дослідження на сітці спостережень необхідної детальності та регулярності. Проведено статистичний аналіз результатів чисельного моделювання та їхню перевірку на адекватність.

Ключові слова: статистичне моделювання, кореляційна функція типу Уіттлі-Матерна, спектральний розклад, кондиційність карт.

З. Вижва, д-р физ.-мат. наук, проф.
E-mail: zoia_vyzhva@ukr.net;
В. Демидов, канд. физ.-мат. наук, доц.
E-mail: fondad@ukr.net
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина
А. Вижва, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.,
e-mail: motomustanger@ukr.net
ГП "Науканафтогаз"

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНОГО ПОЛЯ НА ПЛОСКОЙ ОБЛАСТИ С КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИЕЙ ТИПА УИТТЛИ-МАТЕРНА В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧЕ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В связи с ростом количества природно-техногенных катастроф актуальной является задача разработки систем мониторинга состояния геологической среды с использованием современного математического аппарата и информационных технологий. В общей системе мониторинга окружающей среды важной составляющей является локальный мониторинг территорий размещения потенциально опасных объектов.

На территории расположения Ровенской АЭС проводился комплекс геофизических исследований. Среди таких мониторинговых исследований наибольший интерес представляют радиоизотопные исследования плотности и влажности грунтов по периметру построенных сооружений. При этом возникла необходимость дополнения данных путем моделирования, которые изначально были получены при контроле изменений плотности меловой толщи на территории исследуемой промплощадки с использованием радиоизотопных методов по сетке, которая включала 29 скважин. Эта проблема была решена в работе методом статистического моделирования, который даёт возможность отображать явление (случайное поле объекта исследования на плоскости) в любой точке области наблюдения. При этом моделировались усреднённые значения плотности меловой толщи на территории промплощадки с использованием построенной модели с привлечением корреляционной функции типа Уиттли-Матерна.

Авторами разработан алгоритм и приведен пример статистического моделирования карстово-суффозионных явлений в задаче мониторинга плотности меловой толщи на территории Ровенской АЭС. По спектральному разложению построена статистическая модель распределения плотности меловой толщи на плоскости и разработан алгоритм статистического моделирования с использованием корреляционной функции типа Уиттли-Матерна. На базе разработанного программного обеспечения получены реализации предмета исследования на сетке наблюдений необходимой детальности и регулярности. Проведен статистический анализ результатов численного моделирования и их проверка на адекватность.

Ключевые слова: статистическое моделирование, корреляционная функция типа Уиттли-Матерна, спектральное разложение, кондиционность карт.

УДК 911.9

В. Удовиченко, д-р геогр. наук, доц.

E-mail: reussite303@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033, Україна

БІОЦЕНТРИЧНО-МЕРЕЖНА КОНФІГУРАЦІЯ ЛІСОСТЕПОВИХ ЛАНДШАФТНИХ КОМПЛЕКСІВ ЛІВОБЕРЕЖНОЇ УКРАЇНИ: МЕТРИЗАЦІЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ДЛЯ ПОТРЕБ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ЛАНДШАФТНОГО ПЛАНУВАННЯ

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

Представлене дослідження націлено на здійснення метризації та оцінювання біоцентрично-мережної конфігурації лісо-степових комплексів тестового полігону території Лівобережної України як важливої основи імплементації ландшафтного планування. Означена мета реалізована шляхом застосування ГІС-пакета MapInfo Professional 15.0. Специфіку біоцентрично-мережної конфігурації ландшафтів території дослідження розглянуто відповідно до принципів ієрархічності, структурної морфометрії та ландшафтно-репрезентативності, а також у контексті концепції ландшафтного різноманіття, біоцентрично-мережної структури ландшафтів каркасного типу, ландшафтно-планувального каркасу та з позиції вивчення функціональних властивостей ландшафтів. Уперше на прикладі тестового полігону було здійснено метризацію, графічне і картографічне моделювання біоцентрично-мережної конфігурації лісо-степових ландшафтних комплексів у розрізі їхніх родів та урочищ, визначено різновиди її елементів та їхню репрезентативність, реалізовано оцінювання специфіки їхньої сформованості й типізацію щодо виконання ними стабілізуючої географічної функції залежно від ландшафтно-топологічної будови території; отримано показники інсуляризованості біоцентрів. Отримані результати становлять собою важливий базис наступної розробки та впровадження низки ландшафтно-планувальних заходів, які, на думку автора, мають бути спрямовані на розбудову мережі екоядер та екокоридорів регіону дослідження, підвищення екостабілізуючих властивостей антропогенних ландшафтів, поліпшення екологічного стану та екологічної ситуації як у межах дослідного полігону, так і за його межами (на ділянках поширення суміжних, пов'язаних потоками речовини та енергії з досліджуваними, ландшафтних урочищ).

Ключові слова: ландшафт, біоцентрично-мережна конфігурація, метризація, оцінювання, репрезентативність, ландшафтне планування, Лівобережна Україна.

Постановка проблеми. Розгляд питань охорони природи шляхом вивчення біоцентрично-мережної конфігурації ландшафтно-структури території дослідження й екологічного каркасу, формування якого вона зумовлює, видається важливим завданням у контексті імплементації інструментарію ландшафтного планування (далі ЛП), адже вимоги щодо збереження та раціонального використання природно-заповідного фонду, елементів біоцентрично-мережної конфігурації ландшафтно-структури, яка, до певної міри, є його виразником, ураховуються під час підготовки та експертизи еколого-орієнтованих законопроектів, розробки містобудівних, земельно-лісовпорядних матеріалів, інших проектних і проектно-планувальних документів, оскільки оптимізація ландшафтів ґрунтується на відповідних екологічних заасадах і спрямована на забезпечення екологічно оптимального використання природних ресурсів та умов навколишнього середовища, збереження його динамічної рівноваги і належної якості для населення.

Нині ЛП як окремий напрям ландшафтознавства, який набуває все більш активного розвитку, багато в чому пов'язаний з оптимізацією природного середовища та таким облаштуванням території, яке добре узгоджується з визначеними державою ландшафтно-екологічними пріоритетами. Відповідно до них природоохоронна функція висувається в ранг пріоритетних і першочергових для реалізації в межах будь-якого регіону під час здійснення його ландшафтно-екологічної оптимізації. При цьому важливого значення набуває визначення оптимального співвідношення природних і господарських угідь, мінімально необхідної площі біоцентра й оптимальної структури розміщення біоцентрів територією. Разом означені завдання є важливим інструментом розв'язання проблеми *оптимальної організації природного каркасу ландшафту* (Гродзинський, 1993) та одним із завдань на шляху запровадження й втілення у практику ландшафтного планування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Теоретико-методологічний апарат досліджень біоцентрично-мережної конфігурації ландшафтів (далі БМКЛ) формуєть напрямкування європейських (Lauschetal., 2015; McGarigal and Marks, 1994; O'Neill et al., 1988) та українських учених (Домаранський, 2004; Гриневецький,

2002; Гродзинський, 1993; Гродзинський та Шищенко, 1993; Кукурудза та Рутинський, 2002; Шевченко та Ющенко, 2002; Удовиченко, 2017), у роботах яких означено загальні критеріальні аспекти вибору можливих елементів екомережі міжрегіонального чи/або регіонального рівня (Домаранський, 2006; Гродзинський, 1993, 2002, 2005; Lausch et al., 2015; Олещенко, 2000; Шеляг-Сосонко, 2004), критерії моделювання екомережі без урахування значно фрагментованих і антропоізованих територій (Самойленко та Корогода, 2010); нормативно-правові аспекти регулювання діяльності об'єктів ПЗФ України (Закон України "Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 рр.", 2000; Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища", 1991; Закон України "Про природно-заповідний фонд України", 1992) та реалізації заповідної справи (Домаранський, 2006; Закон України "Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 рр.", 2000; Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища", 1991; Закон України "Про природно-заповідний фонд України", 1992; Олещенко, 2000; Шеляг-Сосонко, 2004; Удовиченко, 2013). Разом із тим, усе ще бракує робіт, які б містили конкретні результати моделювання БМКЛ з урахуванням значущості отриманих результатів для впровадження у практику ЛП, за винятком окремих прикладів (Бобра і Лычак, 2003; Десюк та Свідзінська, 2014; Казаков, 2007; Удовиченко, 2017). Відсутність робіт, які б стосувалися висвітлення аспектів моделювання БМКЛ та елементів екомережі регіонального рівня, її локальних елементів у складі значно фрагментованих та антропоізованих територій і які б ґрунтувалися на принципах, викладених у національній концепції розбудови екомережі з виділенням ключових територій, урахуванням ряду природних чинників (рельєфотвірних, ландшафтних, соціально-економічних), з урахуванням значущості отриманих результатів для впровадження у практику ландшафтного планування, зумовили необхідність виконання цього дослідження.

Формулювання цілей статті. Саме зважаючи на все означене, метою цієї роботи було визначено здійснити метризацію та оцінювання біоцентрично-мережної конфігурації ландшафтно-структури території на прикладі лісо-степових комплексів модельної ділянки дослідження

території Лівобережної України для перспективних потреб імплементації ландшафтного планування в її межах, досягнення консенсусу між потребами розвитку суспільства та збереженням, відновленням і оптимізаційним використанням навколишнього середовища / ландшафтів.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих наукових результатів.

Основи інтерпретації концепції біоцентрично-мережної ландшафтно-структури території та її конфігурації були сформульовані наприкінці 70-х – на початку 80-х рр. XX ст. (Гродзинський, 2002), як "розташованих на "тлі" ландшафту біоцентрів, пов'язаних лінійно витягнутими коридорами, уздовж яких мають місце біотичні міграції" (Десюк та Свідінська, 2014, с. 180). Часто поняття такої структури ототожнюється з категорією "екомережа" (Удовиченко, 2017), свідченням чого є використання у наукових джерелах як близьких / синонімічних за змістом понять (Конякін, 2014) "модель екологічних плям і коридорів", "територіальна система екологічної стабільності ландшафту", "екологічний каркас ландшафту", "природно-екологічний каркас", "екологічний каркас", "природоохоронний каркас", "природно-заповідний каркас" та ін.

Структурними елементами БМКЛ є (за: Гродзинський, 1993; Удовиченко, 2013, 2017) біоцентри (ландшафтні екоядра), біокоридори (сполучні території), інтерактивні елементи, матриця (тканина впливів) та буферні зони, а головними структуроформувальними відношеннями в її межах – просторові зв'язки між біотичними елементами. Показниками, за якими БМКЛ та її складові елементи підлягають вивченню й оцінюванню, є зв'язність, конфігурація зон позитивного і негативного впливу, його інтенсивність тощо (Удовиченко, 2017).

Полігон дослідження БМКЛ території Лівобережної України було закладено в лісостеповій частині Сумської області, яка відповідно до існуючої схеми фізико-географічного районування (Удовиченко, 2017) належить до Сумської схилово-височинної фізико-географічної області та розташовується в басейні р. Псел, у межах Сумського, Краснопільського і Лебединського адміністративних районів Сумської області.

Для потреб виявлення, картографування, моделювання й наступного аналізу біоцентрично-мережної конфігурації ландшафтів території тестової ділянки було використано ГІС-пакет MapInfo Professional 15,0, база даних якого включала інформацію про ландшафтні комплекси рангу урочищ і складних урочищ – головні операційні одиниці реалізації дослідження, а також відомості про структуру рослинного покриву і лісовпорядкування, природоохоронні ділянки, що мають різний статус охорони, та можливості оверлейного аналізу.

Лісостепові ландшафти дослідного полігону території Лівобережної України, закладеного для потреб дослідження БМКЛ і наступного впровадження у практику положень концепції ландшафтного планування, представлені комплексами низовинних і підвищених ерозійно-аккумулятивних рівнин з потужним четвертинним покривом на палеогенових піщано-глинистих відкладах і височин і схилів височин акумулятивно-денудаційних сильно розчленованих рівнин із четвертинним покривом на крейдових карбонатних і палеоген-неогенових піщано-глинистих породах (49,58 та 27,79 % відповідно). Заплавні комплекси становлять 22,54 %. Зональний фон ландшафтів тут формують сильно розчленовані, розчленовані підвищені та розчленовані пологохвилясті підвищені лесові рівнини із темно-сірими лісовими ґрунтами і чорноземами типовими мало- і середньогумусними (Удовиченко, 2017). Унаслідок розвитку схилових процесів представлені прирічкові типи місцевості. Крім

того, доволі інтенсивного розвитку набули терасові малодреновані й терасові лесові рівнини, а також терасові горбисті піщані рівнини з дерново-підзолистими ґрунтами, борами та суборами. Інші ландшафти, наприклад рівнинні давньоприльодовикові, унаслідок незначного поширення мають підпорядковане значення.

Аналіз карти ландшафтів (Удовиченко, 2017) дав можливість установити, що в межах дослідного полігону ландшафтно-морфологічна структура представлена вододільними рівнинами, схилами різної крутизни, надзаплатно-терасовими, заплавними, западинними, яружно-балковими та комплексами давніх прохідних долин, які належать до семи родів ландшафтних урочищ. За результатами вивчення та аналізу генетико-морфологічної ландшафтно-структури території було виділено в межах ділянки дослідження 49 вододільних урочищ, 147 схилових (долинних) урочищ, 52 надзаплатно-терасових урочищ, 95 – заплавних, 16 – яружно-балкових, 6 – у межах давніх прохідних долин і 10 западинних урочищ. Таким чином, полігон містить 375 типологічних виділів, які презентують таксономічне різноманіття.

У результаті застосування методики формування регіональної екомережі (Шеляг-Сосонко та ін., 2004) було виділено основні структурні елементи БМКЛ території дослідного полігону (рис. 1) шляхом урахування рис будови ландшафтного каркасу, каркасу гідрографічної мережі, концентрації об'єктів і територій ПЗФ різного статусу, репрезентативності суходільних, низовинних і височинних ландшафтів разом із наземно-аквальними комплексами, специфіки поширення біотопів і ландшафтних локалітетів біоти, міграційних шляхів тварин.

Усього в межах території дослідження було виділено 93 **біоцентри**, загальною площею 623,58 км², які становлять 31,32 % від загальної площі території дослідження, мають різне походження (природне або антропогенне) та біогеографічне значення. Їхнім ядром є заповідні території місцевого значення, а також відносно великі, екологічно стабільні, нефрагментовані та фрагментовані лісові масиви.

Як відомо (Удовиченко, 2017), площа біоцентрів, разом із показниками репрезентативності, є важливим параметром формування локальних природних ядер екомережі відповідно до твердження про те, що за мінімально можливими розмірами таких ядер позначається площа не менша за 500 га (5 км²) (Домаранський, 2006; Шеляг-Сосонко, 1999). З метою визначення відповідності/невідповідності реальних розмірів біоцентрів мінімально можливим екологічно-ефективним було встановлено, що середній розмір біоцентрів полігону становить 6,7 км² (більше мінімуму!), а інтервал коливань значень розмірів біоцентрів від мінімальних до максимальних – від 0,11 (біоцентр № 39, ядро якого формує лісовий масив південно-західної околиці м. Суми, що сформувався у відвершку яружно-балкової мережі) до 143,00 км² (біоцентр № 58, ядро якого формує нефрагментований лісовий масив, що сформувався на межиріччі річок Псел і Сиріватка і схилах різної крутизни).

Порівняння отриманих морфометричних значень розмірів території біоцентрів дало можливість стверджувати, що за показником відповідності площі біоцентрів БМКЛ тестового полігону встановленому екологічно-ефективному мінімуму більшість із них (69 шт.) (рис. 2) мають значно менші площі від мінімально можливих установлених параметрів екологічно-ефективного мінімуму формування природних ядер локальної екомережі та не можуть бути названими як "самодостані" (за критерієм площі). Та лише 24 біоцентри (25,81 %) мають площу більшу від означеного мінімуму і відповідають вимогам означеного критерію. Таким чином, загальна **невідповідність** критерію становить 74,19 %.

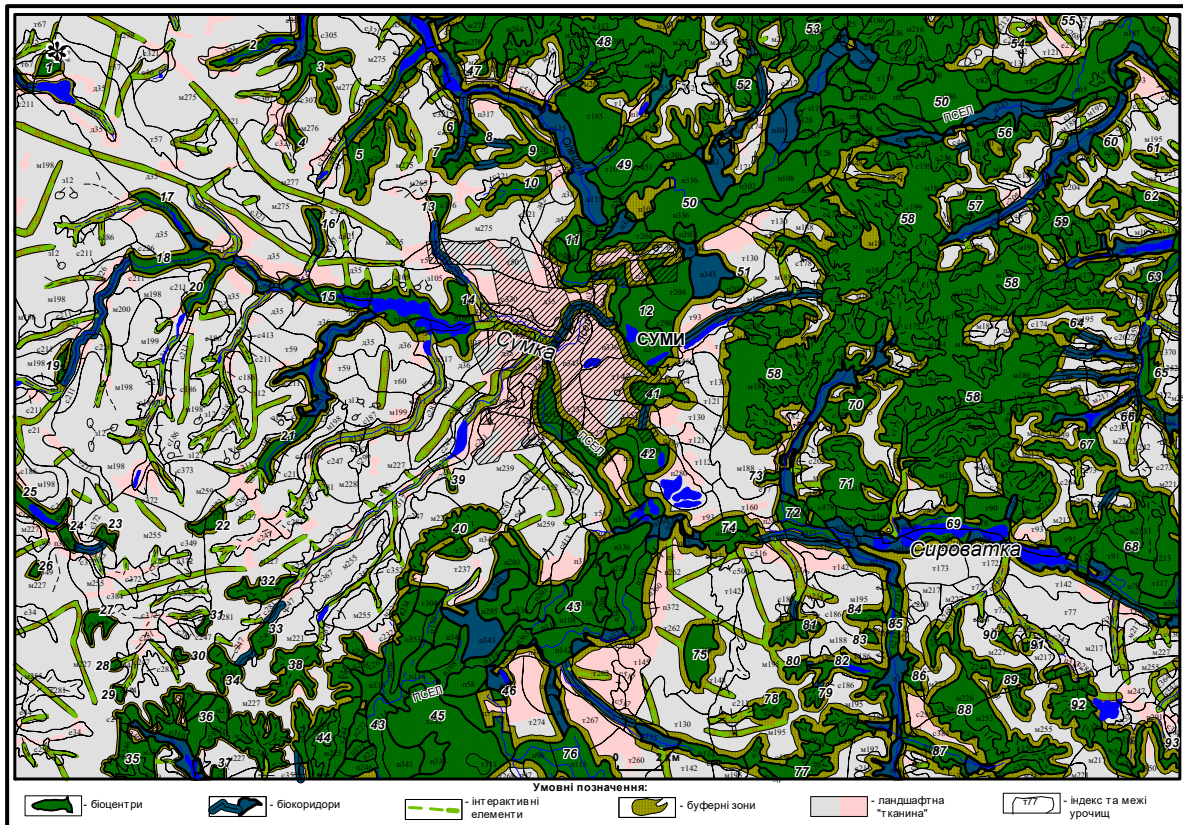


Рис. 1. Біоцентрично-мережна конфігурація ландшафтів тестової ділянки дослідження лісостепових комплексів Лівобережної України (Удовиченко, 2017)

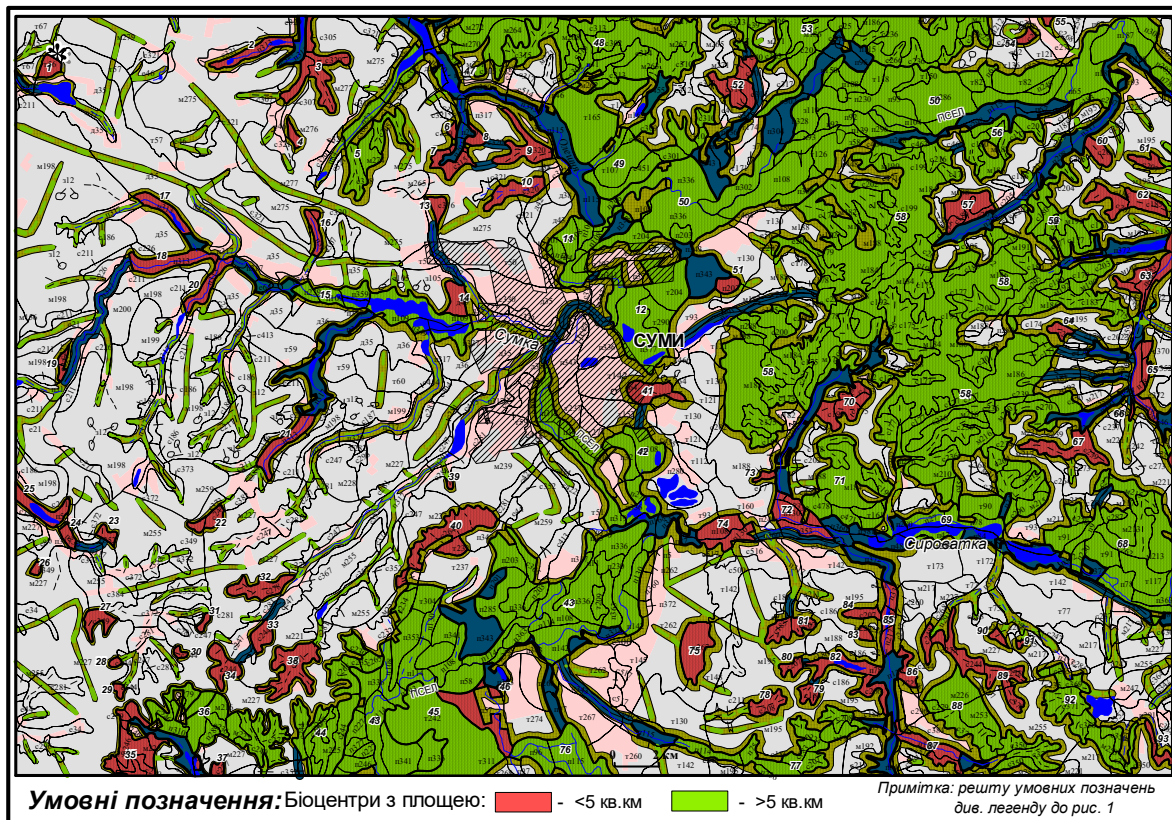


Рис. 2. Розміри територій біоцентрів БМКЛ тестового полігону дослідження лісостепових комплексів Лівобережної України

Крім того, що площа біоцентрів є підґрунтям визначення мінімально можливих розмірів локальних природних

ядер екомережі, вона також становить собою важливий параметр обрахунку коефіцієнта інсуляризованості ($I_{\text{БМКЛ}}$)

(Гродзинский, 2002; Удовиченко, 2017), відповідно до значень якого можна говорити про їхню екологічну стійкість, а отже, про досконалість/недосконалість, ефективність/неефективність територіальної структури об'єктів БМКЛ. Означений коефіцієнт визначається за залежністю (1):

$$I_{\text{БМКЛ}} = \frac{(S_i + N_i)}{2} \quad (1)$$

де $I_{\text{БМКЛ}}$ – коефіцієнт інсуляризованості біоцентрів БМКЛ; S_i – сумарна площа біоцентрів БМКЛ, розміри яких становлять менше 5 км² (нестійких в екомережному сенсі об'єктів); S – загальна площа біоцентрів БМКЛ регіону дослідження; N_i – сумарна кількість біоцентрів БМКЛ, розміри яких становлять менше 5 км²; N – загальна кількість біоцентрів БМКЛ регіону дослідження.

Значення $I_{\text{БМКЛ}}$, визначеного для території дослідного полігону, становить 0,45, отже, менше половини біоцентрів є нестійкими в екомережному сенсі, а територіальна структура БМКЛ загалом потребує вдосконалення та подальшої розбудови, у т.ч., інструментами ландшафтного планування.

Іншою важливою рисою біоцентрично-мережного каркасу, функціонування елементів якого спрямовано перш за все на збереження і відтворення видового, фітоценотичного та ландшафтного різноманіття, є **репрезентативність ландшафтів** (у нашому випадку, на рівні урочищ і складних урочищ) існуючою мережею біоцентрів. Визначення останньої спрямовано на створення у ландшафтного планувальника повноцінного уявлення про рівень представлення біоцентрами фактичного ландшафтного різноманіття (далі ЛР) і про таксономічну репрезентативність різноманіття (відповідність

ЛР елементів БМКЛ типовому якісному складу множинності ландшафтних комплексів полігону).

Так, біоцентри території дослідної ділянки охоплюють 201 урочище із 375, представлених в її межах. Таким чином, невідповідність рівню локального таксономічного ландшафтного різноманіття для біоцентрів становить 46,12 % (!).

З іншого боку, біоцентри розвитку набули у складі всіх представлених у регіоні *родів* ландшафтних комплексів і мають такі риси таксономічної репрезентативності ландшафтів. Так, біоцентри поширені в межах 27 вододільних урочищ, 77 схилих урочищ, 20 надзаплавнотерасових урочищ, 67 заплавних урочищ і лише в межах 1, 7 та 2 – урочищ відповідно давньо-прохіднодолинного, яружно-балкового та западного родів ландшафтів. Разом із тим, невідповідність рівню типовості ландшафтного різноманіття найбільшою є для урочищ роду давніх прохідних долин і становить 83,33 %, а найменшою – для урочищ заплав (29,47 %) (рис. 3).

У розрізі окремих біоцентрів полігону дослідження найвищий *рівень ландшафтного різноманіття і топологічної репрезентативності ландшафтних урочищ* (99) має біоцентр № 58 – найбільший за площею території. Таксономічна ж репрезентивність для нього становить 44. Найнижчі значення ландшафтного різноманіття, таксономічної й топологічної превентивності ландшафтних урочищ (1 і 1 відповідно) (у такому разі біоцентр повністю розміщений в межах єдиного урочища) властиві 46(!) біоцентрам. Отже, практично половина всіх біоцентрів (49,46 %), представлених у межах тестового полігону дослідження, має мінімальний рівень ландшафтного різноманіття території.

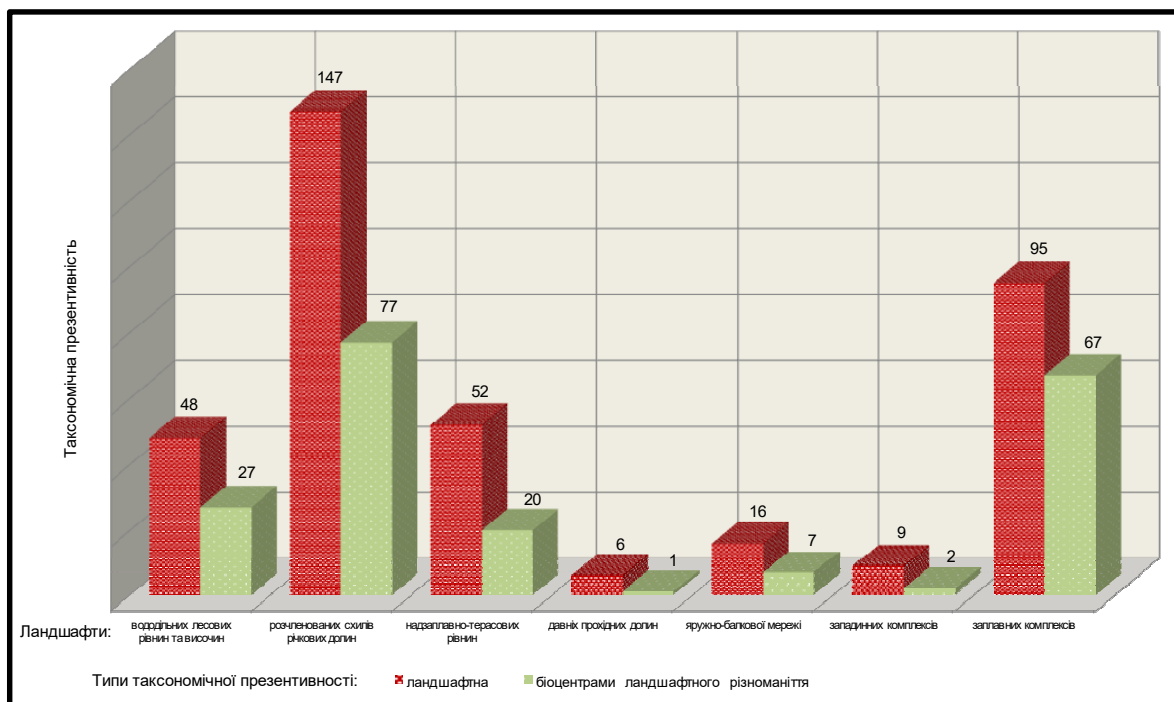


Рис. 3. Таксономічна репрезентативність ландшафтів (на рівні родів ландшафтів) біоцентрами БМКЛ тестового полігону дослідження

Разом із тим, біоцентри, для яких типовий мінімальний рівень ландшафтного різноманіття території, мають також і розміри території, менші від мінімально можливих, що визначаються як прийнятні та екологічно ефективні для цілей формування локальних природних ядер екомережі. Отже, саме такі біоцентри мають розглядатися як об'єкти першочергового впливу людини в напругу вдосконалення та розбудови екомережі й

облаштування БМКЛ території інструментами ландшафтного планування.

Важливою характеристикою БМКЛ регіону, яка відображає специфіку розподілу представлених біоцентрів, визначену в розрізі типів ландшафтів, є їхня **репрезентативність**. Остання визначається як множинність/щільність біоцентрів з розрахунку на одиницю площі за такою залежністю (2):

$$RL_{loc} = \frac{n_{tl}}{S_{tl}} \cdot 100, \quad (2)$$

де RL_{loc} – репрезентативність типу ландшафтів біоцентрами БМКЛ; n_{tl} – кількість біоцентрів на території певного типу ландшафтів; S_{tl} – площа, яку охоплює певний тип ландшафтів; 100 – сума імовірностей складових частин/елементів територіального поділу.

Обрахунок означеного параметра видається важливим з огляду на те, що його значення можна порівнювати з отриманими автором його показниками, визначеними для території Лівобережної України загалом і окремих типів ландшафтів в її межах, зокрема лісостепового (Удовиченко, 2017), які, відповідно, становлять 1,13 (середньорегіональне значення) та 1,05.

Визначення *репрезентативності* ландшафтів тестового полігону дослідження лісостепових комплексів біоцентрами БМКЛ дало можливість установити її значення на рівні 4,7. Таким чином, отриманий показник дає підстави говорити про те, що структура т.зв. "природних регіонів" у межах тестової ділянки є набагато кращою, ніж у межах території Лівобережної України і разом із тим його значення у чотири рази перевищує значення, розраховані для типу лісостепових ландшафтів регіону загалом. Проте, незважаючи на доволі високі значення отриманого показника, можна зауважити також і те, що порівняння відбувалося із середньорегіональними значеннями, отже, необхідності подальшої розбудови мережі об'єктів БМКЛ у межах даного тестового полігону відкидати в жодному разі не варто.

Аналіз представлення різноманіття ландшафтних комплексів у межах виокремлених сформованих біоцентрів БМКЛ тестового полігону створює підстави для твердження про те, що *оптимальною* з погляду на виконання ними середовищестабілізуючої, середовищестабілізуючої та відновлювальної функції можна вважати таку

територію біоцентра, яка з позиції оцінювання її ландшафтно-топологічної будови "вміщує" у собі всі типові для ландшафту морфологічні частини і парадинамічні ряди, у складі яких уздовж ліній току відбувається водний і твердий стік, а також міграція хімічних елементів. При цьому під середовищестабілізуючою функцією мається на увазі здатність ландшафтних комплексів шляхом перебігу природних процесів (та, зважаючи на інтенсивність деструктивних явищ) підтримувати внутрішню рівновагу в географічному середовищі.

Застосування можливостей оверлейного аналізу ГІС-пакета MapInfoProf. 15,0 дало можливість установити, що здебільшого повною мірою означені вище риси будови характерні біоцентрам № 5, 35, 36, 48, 58, 68, 77 (рис. 4) (7,52 % від загальної кількості біоцентрів полігону, або 35,34 % від загальної площі, яку охоплюють біоцентри полігону дослідження, та 11,06 % від загальної площі ділянки дослідження), і саме вони становлять собою місцеві еталони подальшої розбудови БМКЛ. На території ж інших біоцентрів морфологічна структура ландшафтів представлена лише фрагментарно, тому на розширення їхньої території, сполучення мережею біокоридорів з іншими біоцентрами, переведення там, де це можливо, зв'язуючих їх біокоридорів до групи біоцентрів має бути спрямована низка заходів ландшафтного планування території.

Концептуально формування та функціонування елементів БМКЛ відбувається шляхом розвитку системи *сполучних елементів*, які разом сприяють забезпеченню потоку енергії та інформації між природними і антропогенізованими ландшафтними комплексами, міграції представників рослинного і тваринного світів, підтриманню екологічної рівноваги.

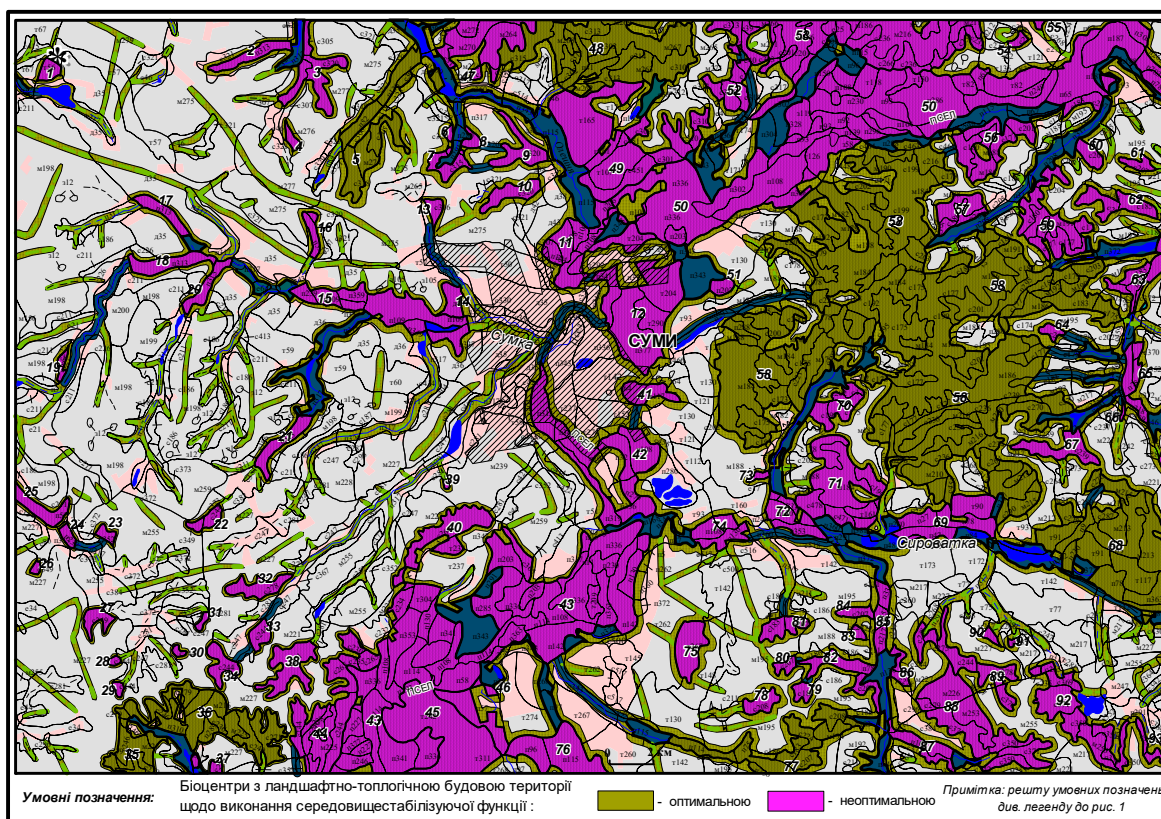


Рис. 4. Типізація біоцентрів БМКЛ тестового полігону щодо виконання ними середовищестабілізуючої функції залежно від ландшафтно-топологічної будови території

Групу т.зв. "сполучних територій" каркасу БМКЛ, які забезпечують формування і функціонування зв'язків між ключовими територіями (біоцентрами), та як результат зумовлюють цілісність екомережі, утворюють **біокоридори та інтерактивні елементи**. У межах дослідного полігону біокоридори займають 85,46 км² (4,29 % від загальної площі), а загальна протяжність інтерактивних елементів становить 300,82 км. Дослідження мережі біокоридорів БМКЛ тестового полігону дало можливість установити, що вони часто є антропогенними (напр., лісосмуги). Розвитку біокоридори найбільшою мірою набули в межах заплавлених та яружно-балкових комплексів, і зазвичай охоплюють долини річок та їхні притоки. Біокоридори регіону дослідження охоплюють переважно земельні ділянки з регламентованим режимом використання – лісові масиви, перелоги, пасовища, сіножаті, луки, болотні комплекси тощо.

Під час ідентифікації елементів БМКЛ було виокремлено також **буферні зони** екомережних об'єктів. Їх формують ділянки, що розміщені навколо ключових елементів та сполучних територій БМКЛ, які запобігають дії прямого негативного впливу на них господарської діяльності людини, що має місце на суміжних ділянках. У межах таких зон зазвичай має превалювати екстенсивний тип використання території (пасовища, сіножаті, експлуатаційні ліси, орні масиви (без застосування мінеральних добрив) тощо), а самі вони повинні становити собою не раптовий, а поступовий перехід до сільгоспугідь, й сприяти значному зменшенню втрат представників тваринного та рослинного світів. Разом буферні зони у межах тестового полігону охоплюють 396,59 км² (19,92 % від загальної площі території дослідження).

Інший елемент БМКЛ формує **матриця/тканина впливів**, яка становить 64,4 % від загальної площі території полігону, з яких 52,85 % охоплюють орні землі та 11,55 % – селитебні території.

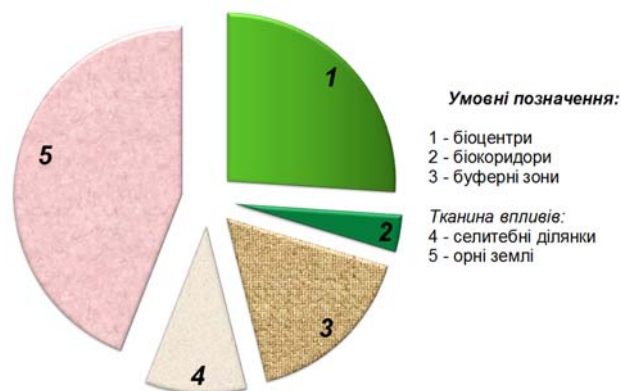


Рис. 5. Репрезентативність елементів БМКЛ тестового полігону дослідження

Шляхом використання отриманих даних про специфіку розвитку елементів БМКЛ у межах дослідного полігону було здійснено **метризацію їхньої репрезентативності**, це дало можливість встановити, що на біоцентри та біокоридори регіону дослідження припадає відповідно 56,40 та 7,73 % від загальної площі територій, зайнятих екомережевими об'єктами (рис. 5), тоді як на буферні зони припадає 35,87 %. Репрезентативність орних земель і селитебних територій становить 81,87 та 18,13 % відповідно від загальної площі, яку охоплює матриця/тканина впливів у межах полігону.

Висновки та перспективи подальших розвідок.

Таким чином, розгляд типологічної структури біоцентрично-мережної конфігурації території дослідного полігону вивчення лісостепових ландшафтів Лівобережної України, визначення ландшафтного різноманіття, таксо-

номічної й топологічної репрезентативності ландшафтних урочищ і родів ландшафтних комплексів її об'єктами, обрахунок ступеня репрезентативності ландшафтів території дослідження біоцентрами БМКЛ, здійснення типізації біоцентрів БМКЛ тестового полігону щодо виконання ними середовищестабілізуючої функції залежно від ландшафтно-топологічної будови території разом дають можливість підсумувати, що:

- виокремлення 93 біоцентрів (екоядер) у межах відносно невеликої за розмірами (1 991 км²) тестової ділянки свідчить про те, що досліджена територія має значний ландшафтно-фітоценотичний потенціал формування природного каркасу регіональної екомережі;

- з іншого боку, розвиток елементів БМКЛ у межах регіону дослідження є доволі нерівномірним унаслідок чималої фрагментації ландшафтів, результатом чого стала значна нерівномірність і непропорційність розподілу біоцентрів відповідно до репрезентативності ландшафтів і ландшафтно-топологічної будови;

- БМКЛ властивий невисокий рівень функціональної структурованості й як результат – невинуватно велика кількість біоцентрів, площа яких не перевищує встановлений екологічно-ефективний мінімум формування природних регіонів локальної екомережі, та які не можуть бути названими як "самодостані", а натомість належать до елементів БМКЛ "нижчих" категорій;

- незначною є кількість біоцентрів, територія яких залежно від ландшафтно-топологічної її будови може вважатися оптимальною з погляду на виконання середовищестабілізуючої, середовищестабілізуючої та відновлювальної функції; найчастіше морфологічна структура ландшафтів на території біоцентрів представлена лише фрагментарно, тому вони мають становити собою об'єкти першочергової дії ландшафтного планування в напрямі розбудови БМКЛ, оскільки в їхніх межах превалює переважно збереження окремих компонентів природи, найчастіше – біотичної складової, а не ландшафту загалом.

Отже, сучасний стан БМКЛ дослідного полігону не є оптимальним, у численних випадках його елементи є розрізненими, не здатними представити усе наявне ландшафтне різноманіття, часто з незначними фактичними площами та слабко "ув'язані" між собою, об'єкти, які, до того ж відзначаються непропорційністю розвитку і функціонування, низьким рівнем ландшафтною репрезентативності, і які як результат необхідно "добудовувати до рівня системи", аби представити в їхніх межах ландшафт як певну цілісність.

З іншого боку, можна стверджувати і про те, що поліпшення структури елементів БМКЛ у регіоні можливе шляхом розбудови існуючої мережі екоядер та екокоридорів, створення низки нових екоелементів, охоплюючи все нові й нові та визначені як такі, що ефективно виконують середовищестабілізуючу функцію, ландшафтні комплекси (що виносяться у перспективні завдання майбутніх наукових пошуків автора), у результаті чого неминує підвищення екостабілізуючих властивостей антропогенних ландшафтів, поліпшення екологічного стану та екологічної ситуації як у межах дослідного полігону, так і за його межами (на ділянках поширення суміжних, пов'язаних потоками речовини та енергії з досліджуваними, ландшафтних урочищ). Означені питання мають бути в пріоритеті серед фахівців-планувальників і проектувальників території, а не лише природознавців і природоохоронників, оскільки існуючі підходи до створення екоядер у більшості випадків є біоцентричними і спрямованими на збереження окремих біологічних видів; проте при цьому часто не враховується залежність біологічної складової ландшафту від середовища її існування, основою якого є ландшафтне різноманіття. Отже, одним з найважливіших завдань реконструкції мережі об'єктів БМКЛ регіону дослідження

має бути досягнення такої її ефективної функціонально-територіальної структури, яка б репрезентувала якомога більше екологічно стійких і надійних їхніх категорій в доцільних просторових співвідношеннях у межах роду ландшафтів і типу місцевості, презентуючи ландшафтно-топологічну та позиційно-динамічну структуру ландшафтних комплексів повною мірою. Добудована засобами планування до "єдиного цілого" така система має доповнюватися найбільш репрезентативними для регіону ландшафтами, які становлять собою "зональні стандарти" або "стандарти порівняння".

Список використаних джерел

- Бобра, Т. В., Лычак, А. И. (2003). Ландшафтные основы территориального планирования. Симферополь.
- Гриневський, В. Т. (2002). Поняття екомережі та основні напрями її ландшафтознавчого обґрунтування в Україні. *Укр. геогр. журнал*, 4, 62-67.
- Гродзинский, М. Д. (2002). Разработка концепции экологических коридоров в трансграничных участках бассейна реки Днепр. *Финальный отчет*.
- Гродзинский, М. Д., Шиченко, П. Г. (1993). Ландшафтно-экологический анализ в мелиоративном природопользовании. Київ.
- Гродзинский, М. Д. (1993). Основы ландшафтной экологии. Київ: Либідь.
- Гродзинський, М. Д. (2005). Пізнання ландшафту: місце і простір. У 2-х томах. Київ.
- Десяк, В. С., Свідзінська, Д. В. (2014). Картографування та аналіз біоцентрично-мережевої конфігурації (на прикладі Лубенського району Полтавської області). *Часопис картографії*, 10, 179-185.
- Домаранський, А. О. (2004). Концепція ландшафтного різноманіття в контексті формування національної екомережі. *Україна: географічні проблеми сталого розвитку*, 2, 82-84.
- Домаранський, А. О. (2006). Ландшафтне різноманіття: сутність, значення, метризація, збереження. Кіровоград.
- Закон України "Про загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 роки". (2000). Отримано 4 грудня 2018, із <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1989-14>.
- Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища". (1991). Отримано 4 грудня 2018, із http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T126400.html.
- Закон України "Про природно-заповідний фонд України". (1992). Отримано 4 грудня 2018, із <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2456-12>.
- Казаків, Л. К. (2007). Ландшафтоведение с основами ландшафтного планирования. Москва.
- Конякин, С. М. (2014). Регіональна екомережа Черкаської області: географічні аспекти формування і розвитку. *Фізична географія та геоморфологія*, 3 (75), 89-100.
- Кукурудза, С. І., Рутинський, М. Й. (2002). Методологічні підходи до метризації екостанів ландшафтних систем. *Київський географічний щорічник*, 1, 175-181.
- Олещенко, В. І. (2000). Організаційно-правові засади збереження біологічного та ландшафтного різноманіття в Україні. *Проблеми ландшафтного різноманіття України*, 38-42.
- Самойленко, В. М., Корогода, Н. П. (2010). Визначення розрахункових показників при моделюванні екомережі в басейнах річок на різних територіальних рівнях проектування. *Фізична географія та геоморфологія*, 3 (60), 57-62.
- Удовиченко, В. В. (2017). Коефіцієнт інсуляризованості як один з критеріїв оцінки екологічної стійкості мережі об'єктів ПЗФ. *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2017*, 204-205.
- Удовиченко, В. В. (2017). Регіональне ландшафтне планування: теорія, методологія, практика. Київ.
- Шевченко, Л. М., Ющенко, Я. І. (2002). Ландшафтно-геохімічні передумови формування та розвитку екомережі України (теоретико-методологічний аспект). *Укр. геогр. журнал*, 4, 55-61.
- Шеляг-Сосонко, Ю. Р. (1999). Розбудова екомережі України. Програма розвитку ООН. Проект "Екомережі". Київ.
- Шеляг-Сосонко, Ю. Р. (2004). Формування регіональних схем екомережі (методичні рекомендації). Київ.
- Шеляг-Сосонко, Ю. Р., Гродзинский, М. Д., Романенко, В. Д. (2004). Концепция, методы и критерии создания экосети Украины. Київ.
- Lausch, A., Blaschke, T., Haase, D., Herzog, F., Syrbe, R.-U., Tischendorf, L., Walz, U. (2015). Understanding and quantifying landscape structure. A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecological Modelling, Use of ecological indicators in models*, 295, 31-41. doi:10.1016/j.ecolmodel.2014.08.018. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Angela_Lausch/publication/266081058_Understanding_and_quantifying_landscape_structure_A_review_on_relevant_process_characteristics_data_models_and_landscape_metrics/links/561a61ff08aea8036722b319.pdf.
- McGarigal, K., Marks, B. J. (1994). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Version 2.0, Corvallis. Retrieved from <https://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>.
- O'Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, V. H., Graham, R. L. (1988). Indices of landscape pattern. *Landscape Ecol.*, 1, 153-162. doi:10.1007/BF00162741. Retrieved from http://deepeco.ucsd.edu/~george/publications/88_indices_of_landscape_pattern.pdf.
- Udovychenko, V. V. (2013). International Cooperation in the Field of Geography and Nature Protection: Syllabus. Kyiv.
- References**
- Bobra, T. V., Lychak, A. I. (2003). Landscape basis of territorial planning. Simferopol. [In Russian]
- Desiuk, B. S., Svidzinska, D. S. (2014). Mapping and analyzing the bio-centric-networking configuration (on the example of Lubni area of Poltava region). *Chasopis of cartography*, 10, 179-185. [In Ukrainian]
- Domaranskij, A. O. (2004). The concept of landscape diversity in the context of national Econet formation. *Ukraine: geographical issues of a sustainable development*, 2, 82-84. [In Ukrainian]
- Domaranskij, A. O. (2006). Landscape diversity: essence, significance, metrization, preservation. Kirovohrad. [In Ukrainian]
- Grinevetskij, V. T. (2002). Econet term and the key directions of its landscapeological substantiation. *Ukrainian geographical journal*, 4, 62-67. [In Ukrainian]
- Grodzinskiy, M. D. (1993). The basics of landscape ecology. Kyiv. [In Ukrainian]
- Grodzinskiy, M. D., Shichenko, P. G. (1993). Landscape-ecological analysis in the meliorative nature resources management. Kyiv. [In Russian]
- Grodzinskiy, M. D. (2002). Elaboration of the concept of ecological corridors in the cross boundaries areas of the Dnieper basin. Kyiv. [In Russian]
- Grodzinskiy, M. D. (2005). Landscape perception: place and space. Kyiv. [In Ukrainian]
- Kazakov, L. K. (2007). Landscapeology with the basics of landscape planning. Moscow. [In Russian]
- Koniakin, S. M. (2014). Regional econetwork of Cherkasy region: geographical aspects of formation and development. *Physical geography and geomorphology*, 3 (75), 89-100. [In Ukrainian]
- Kukurudza, S. I., Rutinskij, M. J. (2002). Methodological approaches to the landscape systems states metrization. *Kyiv geographical annual journal*, 1, 175-181. [In Ukrainian]
- Lausch, A., Blaschke, T., Haase, D., Herzog, F., Syrbe, R.-U., Tischendorf, L., Walz, U. (2015). Understanding and quantifying landscape structure. A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecological Modelling, Use of ecological indicators in models*, 295, 31-41. doi:10.1016/j.ecolmodel.2014.08.018. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Angela_Lausch/publication/266081058_Understanding_and_quantifying_landscape_structure_A_review_on_relevant_process_characteristics_data_models_and_landscape_metrics/links/561a61ff08aea8036722b319.pdf
- Law of Ukraine "About National program of Ukraine's national econetwork formation for 2000-2015". (2000). Retrieved Dec. 4, 2018, from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1989-14> [In Ukrainian]
- Law of Ukraine "About natural environment protection". (1991). Retrieved Dec. 4, 2018, from http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T126400.html [In Ukrainian]
- Law of Ukraine "About nature-protection found of Ukraine". (1992). Retrieved Dec. 4, 2018, from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2456-12> [In Ukrainian]
- McGarigal, K., Marks, B. J. (1994). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Version 2.0, Corvallis. Retrieved from <https://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>
- Oleschenko, V. I. (2000). Organizational-law basis of biological and landscapeological diversity protection in Ukraine. *The issue of Ukraine's landscape diversity*, 38-42. [In Ukrainian]
- O'Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, V. H., Graham, R. L. (1988). Indices of landscape pattern. *Landscape Ecol.*, 1, 153-162. doi:10.1007/BF00162741 Retrieved from http://deepeco.ucsd.edu/~george/publications/88_indices_of_landscape_pattern.pdf.
- Samoilenko, V. M., Korogoda, N. P. (2010). Determination of elaborations indexes within the econetwork of the rivers basins modeling at different territorial levels of engineering. *Physical geography and geomorphology*, 3 (60), 57-62. [In Ukrainian]
- Sheliag-Sosonko, Ju. R. (1999). Ukraine's Econetwork elaboration. OUNs program of development. "Econetworks" project. [In Ukrainian]
- Sheliag-Sosonko, Ju. R. (2004). *The regional econetwork scheme's formation (methodical recommendations)*. Kyiv. [In Ukrainian]
- Sheliag-Sosonko, Ju. R., Grodzinskiy, M. D., Romanenko, V. D. (2004). The concept, methods and criteria of Ukraine's econetwork creation. Kyiv. [In Russian]
- Shevchenko, L. M., Juschenko, Ja. I. (2002). Landscape-geochemical background of Ukraine's econetwork formation and development (theoretical-methodological aspect). *Ukrainian geographical journal*, 4, 55-61. [In Ukrainian]
- Udovychenko, V. V. (2013). International Cooperation in the Field of Geography and Nature Protection: Syllabus. Kyiv.
- Udovychenko, V. V. (2017). The index of insularization as criteria of the ecological stability of the objects of NPF econetwork estimation. *Ecology, natural environment protection and sustainable nature resource management: education – science – economy – 2017*. Harkiv. [In Ukrainian]
- Udovychenko, V. V. (2017). Regional landscape planning: theory, methodology, practice. Kyiv. [In Ukrainian]

V. Udovychenko, Dr. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof.
E-mail:reussite303@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv
60, Volodymyrska Str., Kyiv, 01033, Ukraine

BIOCENTRIC-NETWORKING CONFIGURATION OF THE FOREST-STEPPE LANDSCAPES OF THE LEFT BANK OF UKRAINE: METRIZATION AND ASSESSMENT FOR THE PURPOSE OF THE LANDSCAPE PLANNING IMPLEMENTATION

The aim of the research is to do metrization and evaluation of the biocentric-networking configuration of landscapes on the example of the forest-steppe complexes of the Left Bank of Ukraine research area as a key basis for the landscape planning implementation by using GIS-parcel MapInfo Professional 15.0. Specificity of the biocentric-networking configuration of landscapes of the research area is taken into account according to the hierarchic, structural morphometric and landscape presentivness principles, and due to the concept of landscape diversity, biocentric-networking structure of landscape of a skeleton type, landscape-planning skeleton, and from the functional landscape features evaluation point of view. For the first time detachment, metrization, graphic and mapping modelling of the biocentric-networking configuration of the forest-steppe landscapes complexes of the Left Bank of Ukraine research area was done according to its division into the geniuses and units, its elements differentiation establishing; evaluation of the specificity of their formation and typization according to its environment stabilizing function and landscape-topological territory structure was done for the purpose of future landscape-planning activities elaboration and implementation.

Keywords: landscape, biocentric-networking configuration, metrization, evaluation, presentivness, landscape planning, the Left Bank Ukraine.

В. Удовиченко, д-р геогр. наук, доц.
E-mail:reussite303@gmail.com
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
ул. Владимирская, 60, Киев, 01033, Украина

БИОЦЕНТРИЧЕСКИ-СЕТЕВАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ УКРАИНЫ: МЕТРИЗАЦИЯ И ОЦЕНИВАНИЕ ДЛЯ НУЖД ИМПЛЕМЕНТАЦИИ ЛАНДШАФТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Представленное исследование проведено с целью метризации и оценивания биоцентрически-сетевой конфигурации лесостепных комплексов тестового полигона территории Левобережной Украины как важной основы имплементации ландшафтного планирования. Задача реализована путем использования ГИС-пакета MapInfo Professional 15,0. Специфика биоцентрически-сетевой конфигурации ландшафтов территории исследования рассмотрена в соответствии с принципами иерархичности, структурной морфометрии и ландшафтной репрезентативности, а также в контексте концепции ландшафтного разнообразия, биоцентрически-сетевой структуры ландшафтов каркасного типа, ландшафтно-планировочного каркаса и с позиции изучения функциональных свойств ландшафтов. Впервые на примере тестового полигона были осуществлены: метризация, графическое и картографическое моделирование биоцентрически-сетевой конфигурации лесостепных ландшафтных комплексов в разрезе их родов и урочищ; определено разнообразие ее элементов и их репрезентативность, реализовано оценивание специфики их сформированности и типизации относительно выполнения ими средостабилизирующей функции в зависимости от ландшафтно-топологического строения территории; получены показатели инсуляризованности биоцентров. Полученные результаты представляют собой важный базис последующей разработки и внедрения совокупности ландшафтно-планировочных мероприятий, которые, как считает автор, должны быть направлены на оптимизацию сети экоядер и экоридоров региона исследования, повышение экостабилизирующих свойств антропогенных ландшафтов, улучшение экологического состояния и экологической ситуации как в пределах исследуемого полигона, так и за его пределами (на участках распространения смежных, связанных потоками вещества и энергии с исследуемыми, ландшафтных урочищ).

Ключевые слова: ландшафт, биоцентрически-сетевая конфигурация, метризация, оценивание, репрезентативность, ландшафтное планирование, Левобережная Украина.

УДК 551.3

О. Іванік, д-р геол. наук, проф.
E-mail: om.ivanik@gmail.com;
В. Шевчук, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: svgeol44@gmail.com;
Д. Кравченко, канд. геол. наук, доц.
E-mail: dm.vl.kravchenko@gmail.com;
К. Гадяцька, інженер
E-mail: katkravchuk@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

НАЦІОНАЛЬНА БАЗА ДАНИХ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ: ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ, УПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ РЕГІОНАЛЬНОГО І ЛОКАЛЬНОГО РІВНЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Викладено головні підходи та принципи розробки і формування структури бази даних зсувних процесів у межах території України. Підтверджено, що Україна характеризується активним розвитком різногенетичних гравітаційних процесів у межах різних структурно-тектонічних і ландшафтно-кліматичних зон, що вимагає єдиного підходу до створення системи їхнього обліку, інвентаризації та моніторингу з наступним прогнозуванням та оцінкою впливу на техногенні об'єкти різного призначення. Головним завданням національної бази даних зсувних процесів є введення, обробка, аналіз та актуалізація інформації щодо зсувних подій. Вона складається з низки таблиць, що зберігаються та підтримуються в реляційній базі даних Oracle чи PostgreSQL (база даних відкритого доступу open-source). Використання ArcGIS10 надає можливість відображати просторову інформацію, зберігати позиційні та непоозиційні атрибутивні дані зсувів і виконувати операції з просторового аналізу та моделювання з метою подальшого прогнозування зсувної небезпеки на регіональному та локальному рівнях.

Ключові слова: зсуви, база даних, моделювання, прогнозування.

Сучасні гравітаційні екзогенні геологічні процеси, що відбуваються на схилах різного генезису та морфології, є найбільш активним механізмом у денудаційно-аккумулятивних процесах, що впливають на техногенні об'єкти. Динамічні умови і механізми гравітаційних процесів зумовлені ендегенними та екзогенними чинниками, зонально-кліматичними факторами та антропогенною діяльністю.

Серед гравітаційних процесів, що здійснюють найбільш руйнівний вплив на інфраструктурні об'єкти, виділяються власне гравітаційні процеси (осипи, обвали, камінепади), водно-гравітаційні процеси (зсуви) та гравітаційно-водні (селеві) процеси. Визначальними чинниками виникнення цих процесів є стан геологічного середовища, зокрема літолого-стратиграфічні умови та характеристики породних комплексів; гідрогеологічний режим; структурно-текстурні особливості гірських порід і форми їхнього залягання; характер рельєфу. До другої категорії факторів слід віднести динамічні процеси, що змінюють стан схилів: ерозійні процеси, вивітрювання, тектонічний режим території (геодинамічний фактор), сейсмічність і техногенні впливи. Окреме значення відіграє ландшафтно-кліматичний чинник. Комбінація та пріоритетність цих факторів визначають механізм та умови формування гравітаційних процесів. Кожний із проявлених процесів гравітаційної природи вимагає особливих підходів до їхнього моделювання та прогнозу, що визначаються фізико-геологічними моделями схилу і процесу, відповідними математичними моделями та створеними на їхній основі алгоритмами. Розробка цих моделей базується на поглибленому геологічному аналізі геологічного середовища та визначенні параметрів і характеристик процесів, які мають особливості прояву залежно від реологічного стану геологічного середовища і відповідної геологічної будови схилів.

Серед гравітаційних процесів одними з найбільш поширених є зсувні явища, що призводять до значних соціальних та економічних збитків (Рудько та ін., 2012; Рудько, 2015; WeiWu, 2015). Проте вони часто залишаються поза офіційними повідомленнями та увагою, оскільки їхнє виникнення може бути спричинено більш катастрофічними явищами, зокрема землетрусами, повеннями, паводками тощо. McGuire et al. (2002) зазначили, що "зсуви є найбільш поширеною та недооціненою

природною небезпекою на Землі". Європейськими країнами, які найбільше страждають від зсувної небезпеки, є Італія, Іспанія, Велика Британія та ін.

Україна характеризується активним розвитком зсувних процесів у межах різних структурно-тектонічних і ландшафтно-кліматичних зон. Так, за даними Державної служби з надзвичайних ситуацій у 2017 р. найбільшого розвитку зсуви набули на узбережжі Чорного і Азовського морів у Одеській та Миколаївській областях, а також у Львівській, Чернівецькій та Закарпатській областях (рис. 1). Загальна кількість зсувів становила 22950 одиниць. Найбільшого розвитку на території країни зсуви набули в Одеській області, де кількість зсувів становить 5836 одиниць загальною площею 66,3 км².

Безумовно, що така кількість і поширеність зсувних процесів вимагає єдиного підходу щодо створення системи їхнього обліку, інвентаризації та моніторингу з наступним прогнозуванням та оцінкою впливу на техногенні об'єкти різного призначення (Pelletier, 2008; Foster et al., 2012; Garsia Rodriguez et al., 2008; Jaboyedoff et al., 2012). Міжнародне значення інвентаризації зсувів було висвітлено на п'ятому Міжнародному симпозіумі з вивчення зсувів у Лозанні (Швейцарія). На цьому симпозіумі було створено робочу групу з питань детального обліку зсувів у світі та підкреслено важливість розробки стратегії з мінімізації зсувної небезпеки та прогнозування зсувів у майбутньому. Прогрес у розвитку глобальної інвентаризації зсувів був досягнутий у 2003 р. шляхом започаткування Програми співробітництва, яка об'єднала Міжнародний консорціум з вивчення зсувів (ICL), Університет Кіото та Організацію Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури (ЮНЕСКО) з метою сприяння проведенню досліджень і підготовки професійних кадрів. Однією з основних цілей програми була розробка бази зсувів та їхньої глобальної цифрової інвентаризації (Міжнародний консорціум з вивчення зсувів, 2006). До початку глобальної інвентаризації зсувів більшість країн Європи та світу вже розробили національні бази даних зсувів, що ґрунтуються на результатах повномасштабних геологічних досліджень, даних профільних міністерств і відомств. У межах Європи кадастрові роботи мають відмінності для окремих країн, що полягають в особливостях щодо розробки та створення карт імовір-

ності виникнення зсувів і прогнозних карт зсувної небезпеки. Європейськими країнами, що розробили національні бази зсувної небезпеки на основі ГІС, є Франція, Німеччина, Італія, Іспанія, Великобританія, Нідерланди, Швейцарія, Болгарія, Чехія, Кіпр, Румунія, Словаччина та Словенія (*Jelinek et al., 2007*). Австралійська база даних зсувів, розроблена організацією Geoscience

Australia, об'єднує три окремі кадастри і базується на принципі інтероперабельності (*Osuchowski & Atkinson, 2008*). Онлайн-база даних і карта являють собою просторовий розподіл понад 1000 зсувів на основі опублікованої та неопублікованої інформації й польових спостережень.

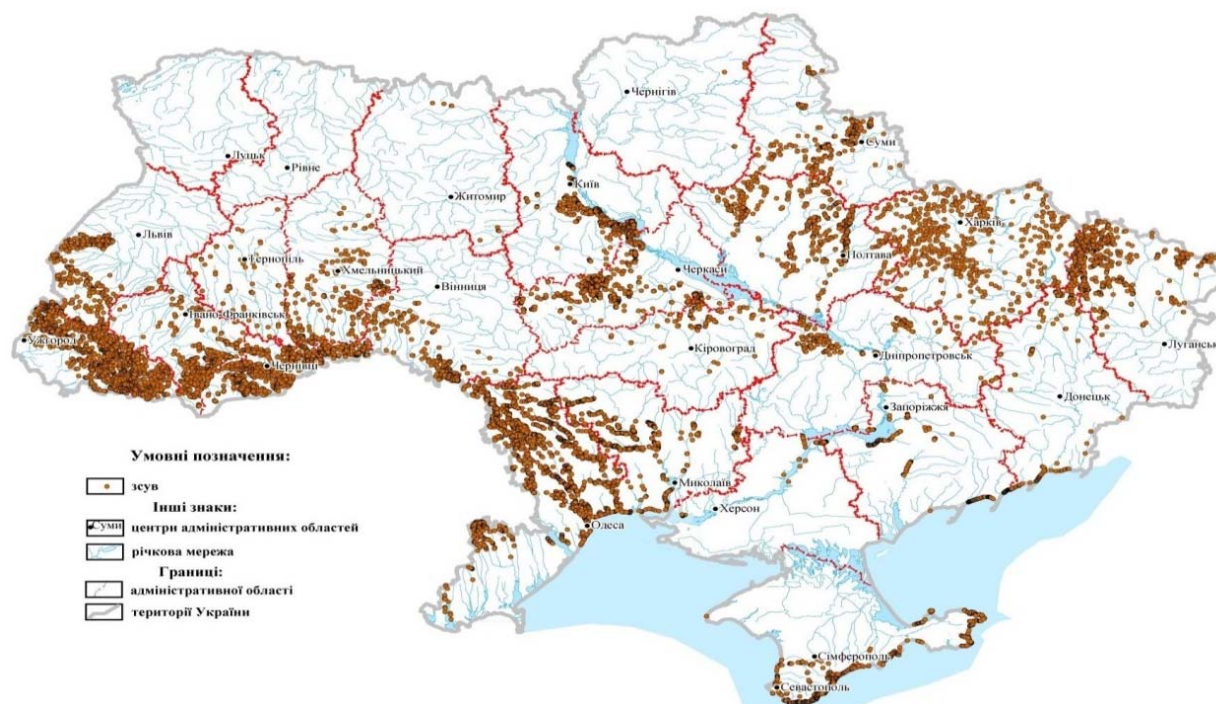


Рис. 1. Поширення зсувів у межах України за даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Прикладом регіонального прогнозування може служити система прогнозування зсувів Великої Британії з розробленою потужною Національною базою даних, створеною на геоінформаційній основі Геологічною службою цієї країни (BGS), де фіксуються всі моніторингові дослідження стану зсувонебезпечних ділянок, удосконалюються методики та прогнозні алгоритми, вивчаються критичні напруження у межах породних комплексів (*Foster et al., 2008*). У США Геологічною службою (USGS) виконується Національна програма оцінки зсувної небезпеки, за якою створено цифрову карту зсувної небезпеки цієї країни. В Японії оцінка ступеня зсувної небезпеки ґрунтується на багатофакторному аналізі й застосуванні низки статистичних методів, що дозволяють будувати карти прогнозу зсувної небезпеки з урахуванням геологічних, геоморфологічних, кліматичних і техногенних факторів, а оцінка просторового поширення зсувів виконується в ГІС-середовищі. Застосування ГІС-технологій з потужними можливостями просторового та геостатистичного аналізу є характерним для регіональних досліджень у межах Канади, Італії, Індії, Індонезії та багатьох інших країн (*Cees, Van Westen, 2000; Saha et al., 2005; Pan et al., 2008; Ulrich Kamp et al., 2008*).

Україна, інтегруючись у європейську наукову спільноту, потребує створення єдиної інтегрованої інформаційно-аналітичної системи (ІАС) моніторингу та прогнозної оцінки природно-техногенних комплексів, яка включає розробку бази даних (статична модель), програмного інтерфейсу для реалізації функцій обробки даних (функціональна модель), а також визначення організаційних заходів для наповнення системи початковими даними та даними проведеного моніторингу (динамічна модель), що змінюють стан статичних моделей. Однією

з головних ланок цієї системи має бути національна база даних зсувної небезпеки та відповідний кадастр зсувів.

Національна база даних зсувної небезпеки є найповнішим джерелом інформації про поширення зсувів у різних регіонах країни, в якій фіксуються всі дані про зсувні події. Головним завданням розробки та впровадження такої бази даних є можливість введення та актуалізації інформації щодо зсувних подій. Бажано, щоб база даних була доступною як для професіоналів, так і для широкого кола користувачів. З огляду на це, для створення інтерфейсу з метою збору, збереження, обробки та аналізу даних може бути використана реляційна база даних Oracle чи PostgreSQL (база даних відкритого доступу open-source).

Збір даних для національної бази даних зсувів є важливим стратегічним завданням у комплексі послідовних дій її розробки та наповнення. Дані мають надходити з різних джерел, включаючи різномасштабні геологічні карти (у тому числі комплексні карти екзогенних геологічних процесів), дані спеціалізованих моніторингових спостережень, а також дані мобільних геологічних спостережень з використанням сучасних технологій на основі мобільних ГІС. Додатковим джерелом даних можуть бути дані дистанційного зондування Землі (*Jaboyedoff et al., 2012*). Необхідним є також відстеження засобів масової інформації із швидким реагуванням на зсувні події та наступною перевіркою повідомлень. У разі неможливості перевірки даних уся інформація із цих джерел може вводитись в альтернативну базу даних, яка зберігатиме інформацію з непрофесійних джерел.

Структура бази даних. Національна база даних зсувів складається з низки таблиць і обмежувальних доменів, що зберігаються та підтримуються у реляційній базі даних Oracle, а використання ArcGIS10 Geodatabase

(база даних, призначена для обробки географічної інформації та просторових даних) надає можливість відображати просторову інформацію, зберігати позиційні та непозиційні атрибутивні дані зсувів і виконувати операції з просторового аналізу та моделювання. Такий підхід використано Британською геологічною службою для формування бази даних та інвентаризаційних карт Великої Британії (Foster et al., 2012).

База даних Oracle дозволяє:

- організувати зберігання значної кількості просторових і пов'язаних з ними семантичних даних (при вдалому масштабуванні бази даних можна говорити про відсутність обмежень за обсягом оперованої інформації);
- забезпечити високу продуктивність обробки великих масивів даних за рахунок удалого проектування інформаційної моделі та механізмів індексування інформації в таблицях бази даних;
- використовуючи штатні механізми обробки просторової інформації як об'єктного типу даних (для Oracle – Spatial, для PostgreSQL – PostGIS), оперативно виконувати просторові запити та комбінований просторовий аналіз інформації;
- налаштовувати санкціонований розподілений багатокористувацький доступ до інформації, що зберігається в базі даних, виокремлюючи дані для науковців-дослідників, владних структур, комерційних компаній, населення тощо;
- убезпечити збереження даних шляхом використання надійних штатних механізмів резервування інформації.

У межах бази даних кожен запис являє собою характеристику зсувної події (стабілізованого чи активного зсуву) і тим самим дозволяє зберігати та аналізувати дані щодо нових і повторних зсувних процесів. Багаторазові зсуви та обстеження одного і того самого зсувного процесу фіксуються як окремі епізоди, даючи кожному зсувному запису унікальний ідентифікатор, що складається з ідентифікаційного номера зсуву та номера обстеження. Такі записи легко знаходяться в базі даних і відображаються як окремі точки в ГІС.

Кожний із записів зсувних подій може містити інформацію, охарактеризовану чисельними атрибутами, включаючи місце розташування, дату, розміри (площа та об'єм зсувного тіла), тип зсуву, механізм зміщення зсуву, чинники виникнення, крутизна та експозиція схилу, характеристика породних комплексів, дата зміщення, розлиністність, гідрогеологічні умови, вік, динамічні параметри, вплив на техногенні споруди та повна бібліографічна довідка. Інформація в межах національної бази зсувних процесів підтримується і зберігається у цифровому форматі, який можна адаптувати та оновлювати з метою використання протягом наступних десятиліть (рис. 2).

Особливу роль у розробці структури бази даних зсувів відіграють словники відповідної геологічної та технологічної інформації, які формуються згідно з усталеними та розробленими класифікаційними ознаками зсувних зміщень, характерними для різноструктурних областей України. Це стосується характеристики розвитку зсуву в часі, характеру, механізму та етапності зміщень, матеріалу та віку зсуву, чинників виникнення зсуву (як природних, так і антропогенних) та ін.

Одним із головних елементів у національній базі зсувної небезпеки є зв'язок з ГІС, яка дає можливість візуалізувати дані та сформувати просторові й атрибутивні запити до бази даних, а також виконувати процедури контролю якості даних.

Використання національної бази зсувних процесів для локального та регіонального прогнозування зсу-

вної небезпеки. Національна база зсувних процесів є важливим етапом для розробки системи прогнозування зсувної небезпеки на регіональному та локальному рівнях. Ці дані разом із ГІС-аналізом дозволяють розробити прогнозно-еталонні критеріальні моделі зсувних процесів; запропонувати перелік критеріїв і ознак їхнього формування та створити регіональні карти імовірності виникнення зсувів. Регіональні інтегральні карти зсувної небезпеки створюються методом математичного накладання, що дає можливість одночасного врахування факторів виникнення зсувів, отримання принципово нової просторової інформації та відповідної реалізації складної моделі комплексної оцінки зсувонебезпеки району. Безумовно, розвинений інструментарій ГІС щодо аналізу як растрових, так і векторних даних дає змогу широкого використання логічних і математичних функцій картографічної алгебри з врахуванням вагових коефіцієнтів кожного чинника формування зсувів і можливістю наочного контролю кожного кроку аналітичного процесу. Це підтверджує інформаційні можливості ГІС щодо просторового аналізу виникнення та активізації водно-гравітаційних процесів. Локальне прогнозування зсувів передбачає польові роботи, моніторинг і чисельне моделювання зсувних процесів із залученням комплексу геофізичних методів. Ці методи та спеціальні польові дослідження визначають склад і структуру найбільш небезпечних зсувів. Із цією метою також проводяться спеціальні аналітичні лабораторні дослідження з оцінкою фізичних параметрів гірських порід (модуль Юнга, коефіцієнта Пуассона, постійної Ляме та ін.) у межах зсувонебезпечних схилів, які використовуються під час оцінки стійкості схилу і розрахунків напружено-деформованого стану породних комплексів у зонах зсувної небезпеки на засадах теорії лінійної пружності.

Таким чином, розробка та наступне впровадження національної бази зсувних процесів, а також виконання регіонального та локального прогнозування зсувної небезпеки на її основі забезпечує:

- коректний аналіз геологічних процесів і геологічних ситуацій в межах територій прояву зсувних процесів;
- дослідження зсувних ризиків, визначення вхідних параметрів моделювання на основі теоретичних, емпіричних та експериментальних даних і ГІС-аналізу;
- постановку комплексних завдань якісної й кількісної оцінки впливу зсувних процесів на функціонування інженерних комплексів і розрахунки напружено-деформованого стану зсувонебезпечних схилів;
- розробку фізичної, геолого-фізичної та математичної моделі геологічного середовища і зсувних процесів із супутнім ГІС-аналізом;
- прогнозування впливу зсувів на техногенні об'єкти;
- оцінку ризиків зсувної небезпеки;
- розробку превентивних заходів з метою мінімізації негативного впливу зсувних процесів на об'єкти критичної інфраструктури.

Такі підходи до прогнозування зсувних процесів мають високу результативність, оскільки є основою для забезпечення ефективного і безпечного функціонування природно-техногенних систем, зниження фінансових ризиків і визначення раціонального комплексу превентивних заходів без додаткових високовартісних спеціалізованих досліджень. Так, наприклад, збитки лише від одного зсуву можуть становити до 400 млн грн (зсув ґрунту в липні 2010 р. поблизу с. Битків Надвірнянського району Івано-Франківської області, унаслідок якого було пошкоджено газопровід "Пасічна-Долина"). Національна база зсувної небезпеки та відповідні методики прогнозування є інструментом попередження таких надзвичайних ситуацій та мінімізації їхніх наслідків.

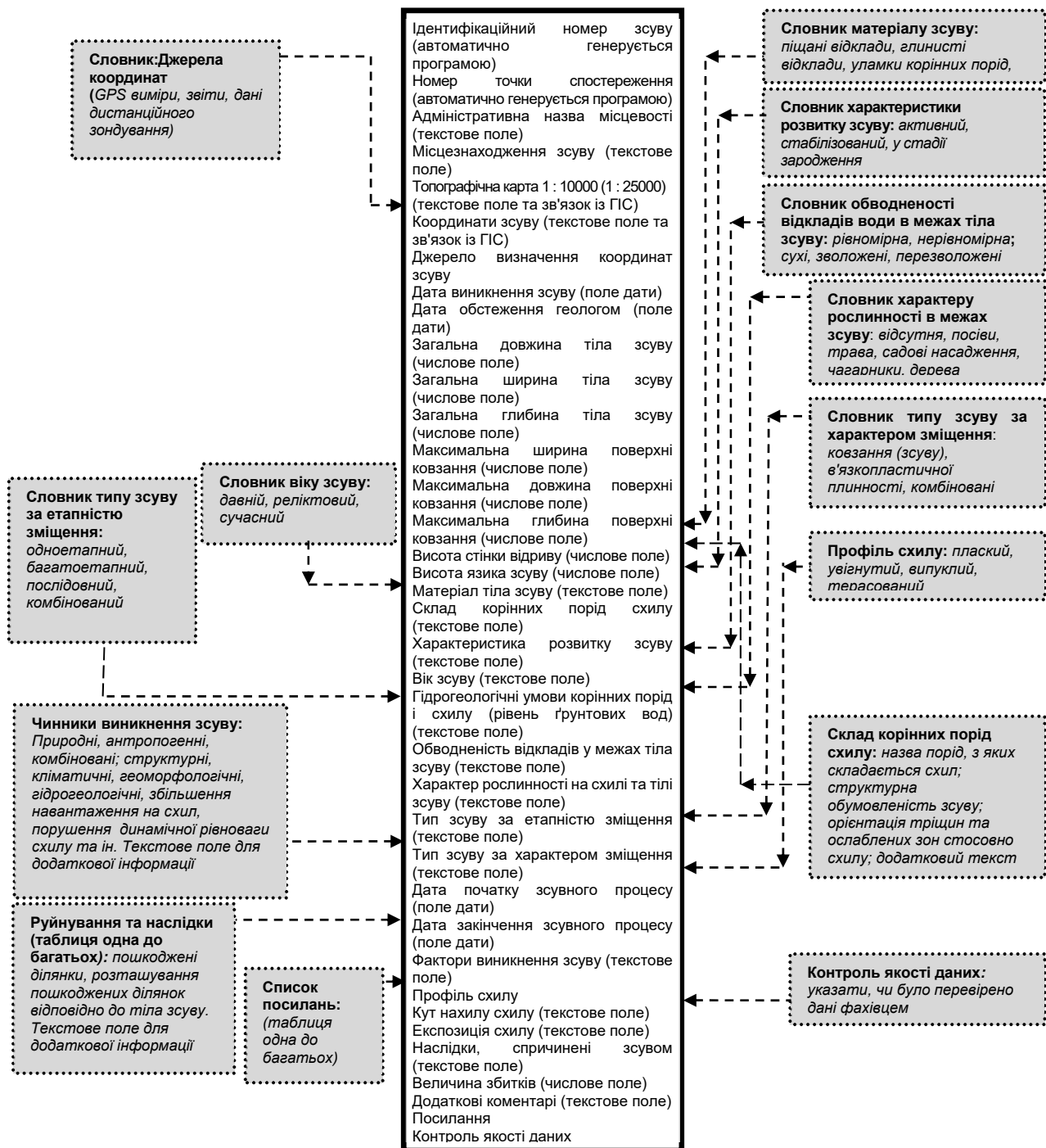


Рис. 2. Структура бази даних зсувів

Список використаних джерел

- Іванік, О.М. (2017). Принципи розробки та впровадження національної бази зсувної небезпеки. Abs. Четверта Міжнародна науково-практична конференція "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування", 6-10 листопада, 180-184.
- Рудько, Г.І. (2015). Наукове супроводження геологічних об'єктів з метою оптимізації використання ресурсів надр (моніторинг надрокористування). Київ.
- Рудько, Г.І., Осіюк, В.А. (Ред.). (2012). Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы). Т. 2. Черновцы: Букрек.
- Foster, C., Gibson, A., Wildman, G. (2008). The new national Landslide Database and Landslide Hazard Assessment of Great Britain. First World Landslide Forum, Tokyo, Japan, 18-21 November 2008, 203-206. Retrieved from <http://nora.nerc.ac.uk/4694/>.
- Foster, C., Pennington, C. V. L., Culshaw, M. G., Lawrie, K. (2012). The national landslide database of Great Britain: development, evolution and applications. Environmental Earth Sciences, 66(3), 941-953. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1304-5>
- Garsia_Rodriguez, M.J., Malpica, J.A., Benito, B., Diaz, M. (2008). Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression. Geomorphology, 95, 172-191. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.001>

- Ivanik, O., Shevchuk, V., Kravchenko, D., Yanchenko, V., Shpyrko, S., Gadiatska, K. (2019). Geological and Geomorphological Factors of Natural Hazards in Ukrainian Carpathians. Journal of Ecological Engineering, 20(4), 177-186. <https://doi.org/10.12911/22998993/102964>
- Jaboyedoff, M., Oppikofer, T. et al. (2012). Use of LIDAR in landslide investigations: a review. Natural Hazards, 61, 5-28. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9634-2>
- Jelinek, R., Herva's, J., Wood, M. (2007). Risk mapping of landslides in New Member States. European Commission. Joint Research Centre.
- Kamp, U., Benjamin, J., Growley, Khattak, G.A. et al. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. Geomorphology, 101(4), 631-642. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.03.003>
- McGuire, W.J., Mason, I., Kilburn, C. (2002). Natural Hazards and Environmental Change. Publisher Arnold, London. <https://doi.org/10.1002/jqs.739>
- Osuchowski, M., Atkinson, R. (2008). Connecting diverse landslide inventories for improved landslide information in Australia. Proceedings of the 1st World Landslide Forum, Tokyo, Japan, 18 - 21 November. Retrieved from https://150.217.73.85/wlfpdf02_Osuchowski.pdf
- Pan, X., Nakamura, H., Nozaki, T. et al. (2008). A GIS-based landslide hazard assessment by multivariate analysis. Journal of the Japan Landslide Society, 45(3), 187-195.

Pelletier, J. (2008). Quantitative modelling of Earth processes. Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511813849>

Saha, K., Arora, M. K., Gupta R. P. et al. (2005). GIS-based route planning in landslide-prone areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(10), 1149–1175. <https://doi.org/10.1080/13658810500105887>

Van Westen, C.J. (2000). The Modelling Of Landslide Hazards Using Gis. *Surveys in Geophysics*, 21(2–3), 241–255. <https://doi.org/10.1023/A:1006794127521>

Wei Wu. (2015). Recent Advances in Modelling Landslides and Debris Flows. Springer Intern. Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11053-0>

References

Foster, C., Gibson, A., Wildman, G. (2008). The new national Landslide Database and Landslide Hazard Assessment of Great Britain. *First World Landslide Forum, Tokyo, Japan, 18–21 November 2008*, 203 – 206. Retrieved from <http://nora.nerc.ac.uk/4694/>.

Foster, C., Pennington, C. V. L., Culshaw, M. G., Lawrie, K. (2012). The national landslide database of Great Britain: development, evolution and applications. *Environmental Earth Sciences*, 66(3), 941–953. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1304-5>

García Rodríguez, M.J., Malpica, J.A., Benito, B., Diaz, M. (2008). Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression. *Geomorphology*, 95, 172–191. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.001>

Ivanik, O., Shevchuk, V., Kravchenko, D., Yanchenko, V., Shpyrko, S., Gadiatska, K. (2019). Geological and Geomorphological Factors of Natural Hazards in Ukrainian Carpathians. *Journal of Ecological Engineering*, 20(4), 177–186. <https://doi.org/10.12911/22998993/102964>

Ivanik, O.M. (2017). Principles of development and implementation of the national landslide database. Subsoil use in Ukraine. Prospects for investment. Abs. Fifth scientific-practical conference. 6–10 november, 180–184. [In Ukrainian]

Jaboyedoff, M., Oppikofer, T. et al. (2012). Use of LIDAR in landslide investigations: a review. *Natural Hazards*, 61, 5–28. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9634-2>

Jelinek, R., Herva's, J., Wood, M. (2007). Risk mapping of landslides in New Member States. European Commission. Joint Research Centre.

Kamp, U., Benjamin, J., Growley, Khattak, G.A. et al. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Geomorphology*, 101(4), 631–642. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.03.003>

McGuire, W.J., Mason, I., Kilburn, C. (2002). Natural Hazards and Environmental Change. Publisher Arnold, London. <https://doi.org/10.1002/jqs.739>

Osuchowski, M., Atkinson, R. (2008). Connecting diverse landslide inventories for improved landslide information in Australia. *Proceedings of the 1st World Landslide Forum, Tokyo, Japan, 18 – 21 November*. Retrieved from https://150.217.73.85/wlfpdf02_Osuchowski.pdf

Pan, X., Nakamura, H., Nozaki, T. et al. (2008). AGIS-based landslide hazard assessment by multivariate analysis. *Journal of the Japan Landslide Society*, 45(3), 187–195.

Pelletier, J. (2008). Quantitative modelling of Earth processes. Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511813849>

Rud'ko, H.Y. (2015). Scientific maintenance of geological objects for optimization of subsoil resources use (subsoil use monitoring). Kyiv. [In Ukrainian]

Rud'ko, H.Y., Osiyuk V.A. (2012). Engineering geodynamics Ukraine and Moldova (landslide geosystems). Vol 2. Chernovtsy: Bukrek. [In Russian]

Saha, K., Arora, M. K., Gupta R. P. et al. (2005). GIS-based route planning in landslide-prone areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(10), 1149–1175. <https://doi.org/10.1080/13658810500105887>

Van Westen, C.J. (2000). The Modelling Of Landslide Hazards Using Gis. *Surveys in Geophysics*, 21(2–3), 241–255. <https://doi.org/10.1023/A:1006794127521>

Wei Wu. (2015). Recent Advances in Modelling Landslides and Debris Flows. Springer Intern. Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11053-0>

Надійшла до редколегії 20.01.19

O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: om.ivanik@gmail.com;
V. Shevchuk, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
E-mail: svgeol44@gmail.com;
D. Kravchenko, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
E-mail: dm.vl.kravchenko@gmail.com;
K. Hadiatska, engineer
E-mail: katkravchuk@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

NATIONAL DATABASE OF LANDSLIDE PROCESSES: PRINCIPLES OF DEVELOPMENT, IMPLEMENTATION AND APPLICATION FOR LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT ON REGIONAL AND LOCAL LEVELS

The main approaches and principles of the development and formation of the database of landslide processes within the territory of Ukraine are described. Among natural risks one of the most common are landslide phenomena, which lead to significant social and economic losses. Ukraine is characterized by active landslide processes within different structural-tectonic and landscape-climatic zones, which requires a unified approach to the development of a system of their assessment, inventory and monitoring with the subsequent forecasting, and assessment of the impact on man-made objects. The national landslide database is the most comprehensive source of information on the distribution of landslides in different regions of the country, and the main task is the input, processing, analysis and updating of information on landslides. The national landslide database consists of a series of tables stored and maintained in the relational database Oracle or PostgreSQL (open-source database). Use of ArcGIS10 provides the ability to display spatial information, store positional and non-positional attributive landslide data, and perform spatial analysis and modelling operations with the purpose of further prediction of landslide hazard at the regional and local levels.

Keywords: landslides, database, modelling, forecast.

Е. Иваник, д-р геол. наук, проф.
E-mail: om.ivanik@gmail.com;
В. Шевчук, д-р геол. наук, проф.
E-mail: svgeol44@gmail.com;
Д. Кравченко, канд. геол. наук, доц.
E-mail: dm.vl.kravchenko@gmail.com;
Е. Гадяцкая, инженер
E-mail: katkravchuk@gmail.com
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
УНІ "Інститут геології", ул. Васильківська, 90, г. Київ, 03022, Україна

НАЦИОНАЛЬНАЯ БАЗА ДАННЫХ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ: ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ, ВНЕДРЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ НА РЕГИОНАЛЬНОМ И ЛОКАЛЬНОМ УРОВНЯХ

Изложены главные подходы, принципы разработки и формирования структуры базы данных оползневых процессов в пределах территории Украины. Подтверждено, что Украина характеризуется активным развитием разнотектонических гравитационных процессов в различных структурно-тектонических и ландшафтно-климатических зонах, что требует единого подхода к созданию системы их учета, инвентаризации и мониторинга с последующим прогнозированием и оценкой влияния на техногенные объекты различного назначения. Главной задачей национальной базы данных оползневых процессов является ввод, обработка, анализ и актуализация информации оползневых событий. Она состоит из ряда таблиц, которые хранятся и поддерживаются в реляционной базе данных Oracle или PostgreSQL (база данных открытого доступа open-source). Использование ArcGIS10 позволяет отображать пространственную информацию, сохранять позиционные и непозиционные атрибутивные данные оползней и выполнять операции пространственного анализа и моделирования с целью дальнейшего прогнозирования оползневой опасности на региональном и локальном уровнях.

Ключевые слова: оползни, база данных, моделирование, прогнозирование.

УДК 574:+502.7

О. Гетманець, канд. фіз.-мат. наук, доц.

E-mail: getmanets54@gmail.com;

А. Некос, д-р геогр. наук, проф.

E-mail: nekos@karazin.ua;

М. Пеліхатий, д-р фіз.-мат. наук, проф.

E-mail: nikolay42@gmail.com

Харківський національний університет ім. В. Каразіна,

пл. Свободи, 6, м. Харків, 61022, Україна

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ І РАДІАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук співроб. О.Л. Шевченком)

Побудова поля радіаційного фону на місцевості на підставі даних вимірювань, що були проведені в кінцевому числі точок, – одне з найважливіших завдань радіаційного моніторингу. Мета роботи: дослідження можливості застосування кластерного аналізу для завдань радіаційного моніторингу довкілля. Кластерний аналіз є багатовимірним статистичним аналізом. Його головне призначення – розбиття множини досліджуваних об'єктів (точок спостережень) на однорідні групи або кластери, тобто вирішується завдання класифікації даних і виявлення в них певної структури. Методи досліджень: вимірювання потужності амбієнтної дози безперервного рентгенівського і гамма-випромінювання на місцевості за допомогою дозиметра МКС-05 "ТЕРРА-0", обробка отриманих даних методами кластерного аналізу із застосуванням комп'ютерної програми "Statistics-10", при цьому кожна точка кластера характеризувалася трьома координатами: двома координатами на місцевості й потужністю амбієнтної дози випромінювання в цій точці; відстанню між двома точками була обрана евклідова відстань. Результати: після обробки даних із застосуванням різних способів кластеризації: методу ближнього сусіда, методу зваженого попарного середнього і методу Варда було встановлено, що результати аналізу якісно практично збігаються між собою, це доводить достовірність застосування кластерного аналізу для задач радіаційного моніторингу місцевості й побудови карт радіаційного забруднення. Висновки: у роботі вперше сформульовано поняття "радіаційного кластера", що об'єднує координати на площині з потужністю амбієнтної дози; доведена можливість застосування кластерного аналізу для побудови карти радіаційного забруднення довкілля шляхом послідовного проектування від більш пов'язаних до менш пов'язаних радіаційних кластерів на площину контрольованої зони. У цьому сенсі кластерний аналіз аналогічний операторному підходу до побудови поля радіації. Для подальших досліджень становить певний інтерес вивчення питань інтеграції кластерного аналізу з геоінформаційними системами.

Ключові слова: радіаційний моніторинг, рентгенівське та гамма-випромінювання, кластерний аналіз.

Вступ. Побудова поля радіаційного фону на місцевості є одним з найважливіших завдань радіаційного моніторингу. Виникає питання, як на підставі вимірювань, що були проведені в кінцевому числі розпорошених точок, відновити цілісну картину розподілу радіації на всій площі контрольованої зони. У багатьох аспектах завдання відновлення поля радіаційного фону за даними точкових вимірювань є аналогічним до завдання відновлення зображення за його точковими фрагментами (Некос та ін., 2007; 2008).

Найбільш загальний підхід до завдання відновлення зображення дається в операторному вигляді (Василенко, Тараторин, 1987). При цьому підході у випадку двох координат x і y на площині процесом формування зображення є перетворення початкового зображення $f(x, y)$ в отримане $g(x, y)$ за допомогою деякого оператора A :

$$g(x, y) = Af(x, y). \quad (1)$$

Структура оператора A може бути досить складною. Вважається, що в загальному випадку оператор A є еквівалентним добутку декількох послідовних операторів A_i ($i = 1, 2, \dots, n$), кожний з яких відповідає різним поступовим етапам отримання зображення:

$$g(x, y) = A_n \cdot A_{n-1} \dots A_1 \cdot A_0 f(x, y). \quad (2)$$

Важливим є порядок розташування операторів, оскільки наявність нелінійності не дозволяє гарантувати їхню комутативність. Завдання полягає в знаходженні зворотного перетворення A^{-1} :

$$f(x, y) = A^{-1}g(x, y). \quad (3)$$

Різноманіття моделей формування зображень можна поділити на дві великі групи: детерміновані та статистичні (Василенко, Тараторин, 1987). Детерміновані моделі пов'язані з розв'язанням інтегральних рівнянь лінійної фільтрації. У статистичних моделях вважається, що зображення є деяким статистичним об'єктом і для описання його формування застосовують методи статистичної теорії зв'язку.

Метою даної роботи є запровадження альтернативної моделі побудови поля радіаційного фону (зображення),

заснованої на методах кластерного аналізу (Duranand Odell, 1974; Мандель, 1988). Кластерний аналіз є багатовимірним статистичним аналізом. Його головне призначення – розбиття множини об'єктів, що досліджуються (точок спостережень), на однорідні групи або кластери, тобто вирішується завдання класифікації даних і виявлення в них певної структури. У кластерному аналізі схожість або різниця між об'єктами встановлюється залежно від метричної відстані між ними. Якщо кожен об'єкт має k ознак ("координат"), то він може розглядатися як точка у k -вимірному просторі, і схожість з іншими об'єктами буде визначатися як відповідна відстань між ними.

Оберемо координатами кожної з точок спостережень N_i дві координати x_i і y_i , які визначають її положення на площині, і третю координату z_i – значення амбієнтного еквівалента потужності дози неперервного рентгенівського та гамма-випромінювання в цій точці, тобто точка N_i має координати: $N_i(x_i, y_i, z_i)$. Як відстань d_{ik} між двома точками N_i і N_k оберемо найбільш поширену евклідову відстань:

$d_{ik} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 + (z_i - z_k)^2}$. Далі для зв'язування усіх координат до єдиного масштабу необхідно зробити нормалізацію (або стандартизацію) координат. Для цього віднімемо від кожної з координат її середнє значення за всіма точками спостережень і поділимо різницю на відповідне середнє квадратичне відхилення. Кластер, що був отриманий при об'єднанні схожих точок спостережень або схожих кластерів, називатимемо далі "радіаційним кластером".

Слід зазначити, що існує певна кількість робіт, присвячених застосуванню кластерного аналізу для завдань екологічного моніторингу довкілля (Поліщук, 2005; Saksena, 2003; Atushi, 2014). Але їхньою метою головним чином є визначення, виділення і локалізація основних джерел забруднень, а також оптимізація кількості пунктів екологічних спостережень.

Об'єкти та методи досліджень. Матеріалами досліджень були використані результати вимірювань рівня амбієнтного еквівалента потужності дози неперервного

рентгенівського та гамма-випромінювання на частині території Немишлянського району м. Харкова, що були проведені у травні–червні 2017 р. Вимірювання проводилися за допомогою дозиметра МКС-05 "ТЕРРА-0" з абсолютною похибкою приладу 0,01 мкЗв/год, який застосовується для дозиметричного і радіометричного контролю на промислових підприємствах; для екологічних досліджень; для контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд і прилеглих до них територій. Карта території, на якій проводилися дослідження, наведена на рис. 1. На цій карті показано розташування усіх 19 контрольних точок спостережень. Відлік координат здійснювався відносно контрольної точки

№ 1: координати 1(0;0). Обробка результатів вимірювань проводилася методами кластерного аналізу за допомогою програми "Statistics-10" (SPSSInc., US).

Результати досліджень. Як приклад у табл. 1 наведено результати вимірювань амбієнтного еквівалента потужності дози неперервного рентгенівського та гамма-випромінювання в усіх контрольних точках, наведених на рис. 1, станом на 31 травня 2017 р. У цій таблиці наведено як абсолютні значення результатів вимірювань і геометричні координати кожної контрольної точки, так і стандартизовані (зведені до єдиного масштабу) значення усіх трьох "координат".

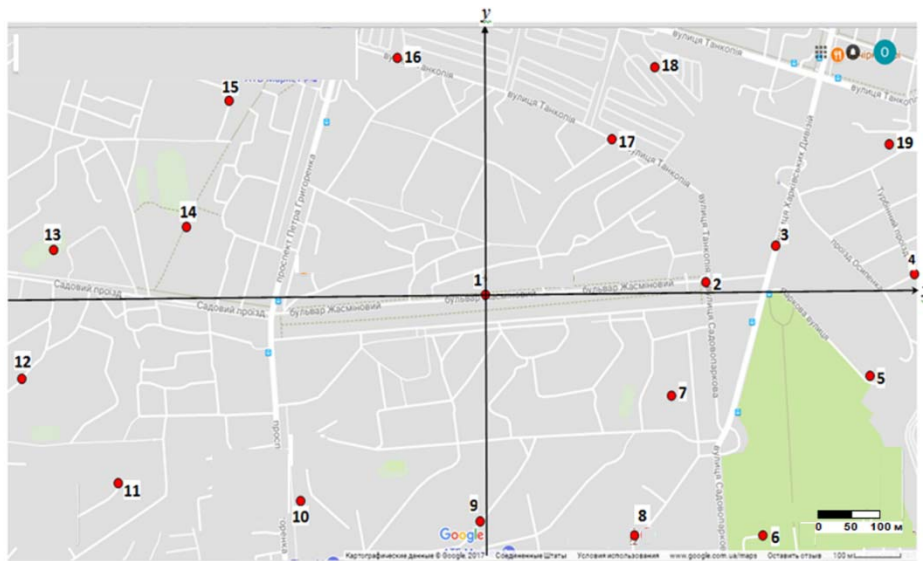


Рис. 1. Карта-схема розташування точок спостережень на контрольованій території

Результати вимірювань амбієнтного еквівалента потужності дози неперервного рентгенівського та гамма-випромінювання станом на 31 травня 2017 року

Таблиця 1

№ точки	Потужність дози d , мкЗв/год	Координати		Стандартизовані координати		
		x , м	y , м	$\tilde{d}$	$\tilde{y}$	$\tilde{x}$
1	0,19	0	0	0,426	-0,097	0,064
2	0,16	493	21	-0,630	0,691	0,131
3	0,13	629	93	-1,687	0,908	0,363
4	0,14	921	36	-1,334	1,374	0,180
5	0,18	829	-164	0,074	1,227	-0,464
6	0,15	593	-471	-0,982	0,850	-1,451
7	0,15	400	-193	-0,982	0,542	-0,557
8	0,18	314	-464	0,074	0,404	-1,429
9	0,19	-14	-436	0,426	-0,120	-1,339
10	0,19	-400	-393	0,426	-0,736	-1,201
11	0,22	-786	-350	1,483	-1,353	-1,062
12	0,16	-1000	-150	-0,630	-1,695	-0,419
13	0,20	-929	100	0,778	-1,582	0,385
14	0,15	-643	136	-0,982	-1,125	0,501
15	0,21	-550	379	1,131	-0,976	1,283
16	0,23	-186	464	1,835	-0,394	1,557
17	0,21	264	300	1,131	0,325	1,029
18	0,18	357	436	0,074	0,473	1,467
19	0,16	864	279	-0,630	1,283	0,961

Далі була безпосередньо застосована кластеризація отриманих даних. Слід зазначити, що існує багато схем кластеризації. Ми обрали для порівняння три найбільш поширені з них: 1) "метод найдальшого сусіда" (Completelinkage) – в алгоритмі якого відстань між двома кластерами визначається як максимальна відстань між усіма можливими парами елементів із цих кластерів; при реалізації цього методу, як правило, формуються відносно компактні кластери, які складаються з об'єктів з великою схожістю; 2) "метод зваженого попарного

середнього" (Weightedpair-groupaverages) – у цьому методі відстань між двома різними кластерами обчислюється як середня відстань між усіма парами об'єктів з них, при цьому кількість об'єктів в кластерах використовується як ваговий коефіцієнт; даний метод застосовують, коли передбачаються нерівні розміри кластерів; 3) "метод Варда" (Ward'smethod) – як цільову функцію використовують внутрішньокластерну суму квадратів відхилень відстаней між кожною точкою кластера і середньою за кластером; на кожному кроці об'єднуються

такі два кластери, які призводять до мінімального збільшення цільової функції, тобто внутрішньої групової суми квадратів; цей метод направлений на об'єднання близько розташованих кластерів.

Для наочності порівняння результати застосування кожної схеми кластеризації щодо даних табл. 1 на рис. 2–4 наведено відповідні "дендрограми". Тут на вертикальній осі вказано номери відповідних точок спостережень, а на горизонтальній – "Linkage Distance" – "відстань зв'язку". Чим вона менша, тим сильніше зв'язані кластери. Вважається, якщо "відстань зв'язку" перевищує 3–4 відносні одиниці, то процес кластеризації завершується (Duran, Odell, 1974; Мандель, 1988).

Порівнюючи між собою ці "дендрограми", можна зробити висновок, що вони якісно збігаються, тобто вказують на утворення кластерів з однакових елементів (точок).

Щодо 3d геометрії радіаційний кластер являє собою "кулю", що висить над контрольованою площиною (x, y). Радіус кулі (радіус кластера) – це відстань від найдаальшої

точки кластера до його центра, який є середнім геометричним місцем точок кластера.

Для побудови карти радіаційного фону на місцевості слід спроектувати ці кулі на площину (x, y), узявши за значення потужності дози випромінювання – середнє геометричне за кластером.

Порядок проектування такий: на першому (передньому) плані розташована проекція кластера з найменшою відстанню зв'язку, на другому – проекція з наступною за значенням відстанню і так далі, доки на задньому плані не з'явиться середнє за всіма точками спостережень значення потужності дози. При цьому можна скористатися таблицями відстаней зв'язку, які програма "Statistics-10" видає для кожної схеми кластеризації. Не вдаючись у деталі обчислень, наведемо на рис. 5–7 результати проектування радіаційних кластерів на площину контрольованої території (рис. 1) для різних схем кластеризації. На цих картах для прив'язки до карти місцевості (рис. 1) як реперні наведено всі контрольні точки вимірювань.

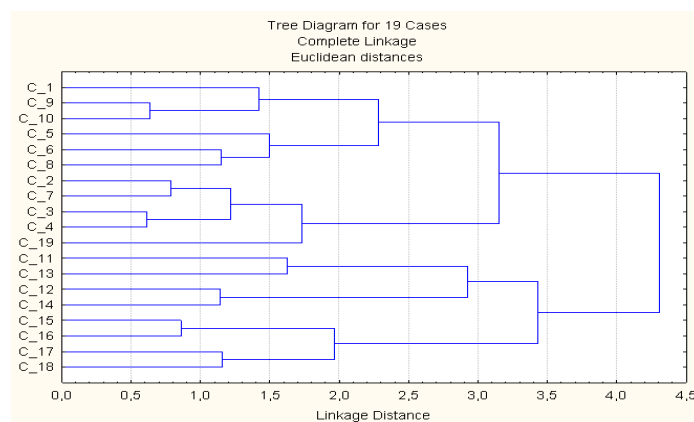


Рис. 2. Схема кластеризації за методом найдаальшого сусіда

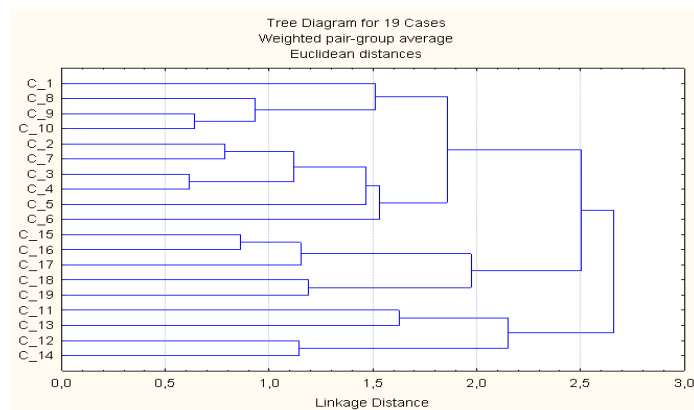


Рис. 3. Схема кластеризації за методом зваженого попарного середнього

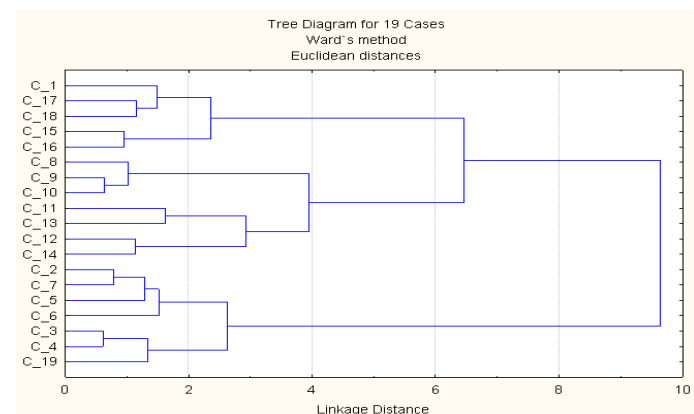


Рис. 4. Схема кластеризації за методом Варда

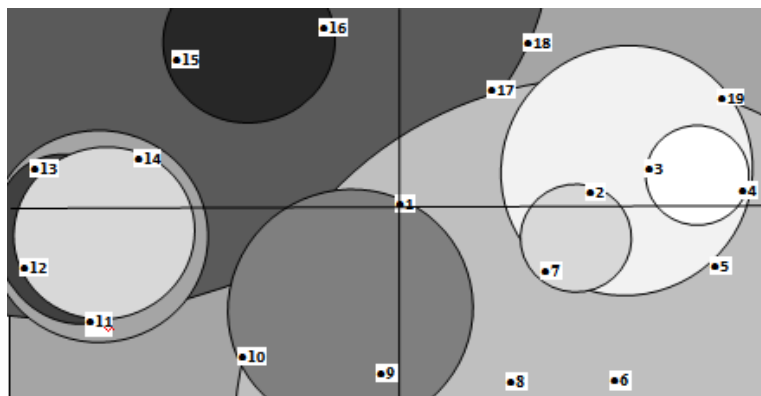


Рис. 5. Карта радіаційного фону станом на 31.05.17, побудована за методом найдаляшого сусіда: білий колір – 0,14 мкЗв/год, чорний – 0,22 мкЗв/год через 0,01 мкЗв/год за тоном

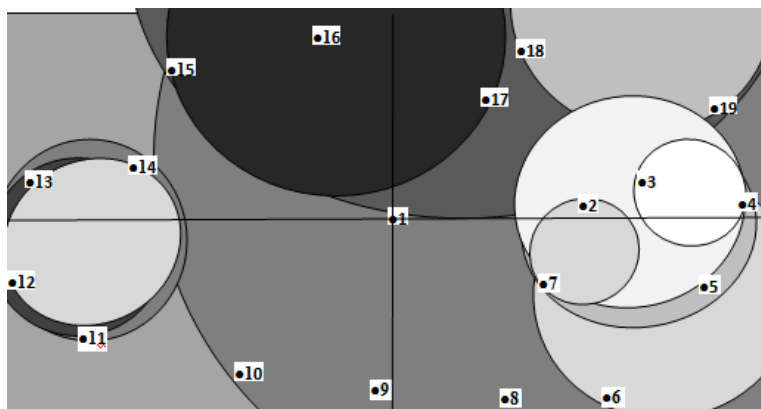


Рис. 6. Карта радіаційного фону станом на 31.05.17, побудована за методом зваженого попарного середнього. Умовні позначення див. рис. 5

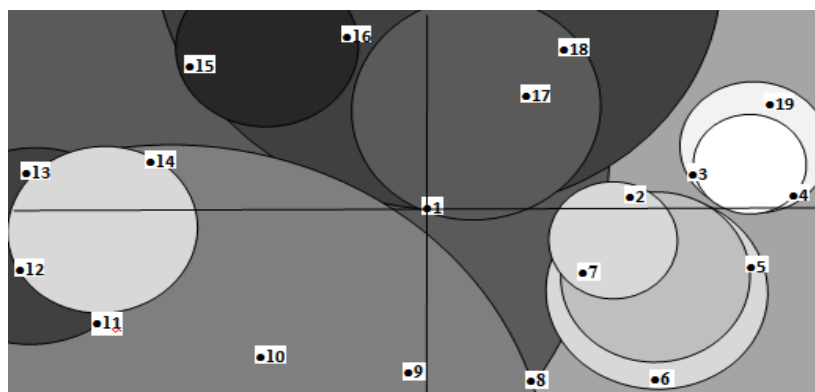


Рис. 7. Карта радіаційного фону станом на 31.05.17, побудована за методом Варда. Умовні позначення див. рис. 5

Порівнюючи між собою рис. 5–7, можна бачити, що передбачення усіх трьох методів кластеризації щодо побудови поля радіаційного фону на відносно невеликій території якісно і кількісно практично збігаються (особливо за методом дальнього сусіда і методом Варда). Це підтверджує достовірність застосування кластерного аналізу для завдань радіаційного моніторингу місцевості й побудови карт радіаційного забруднення.

Висновки. Таким чином, у даній роботі доведена можливість застосування кластерного аналізу для побудови поля потужності дози випромінювання, тобто поля радіаційного забруднення території. Уперше сформульовано поняття "радіаційного кластера". За своїм змістом послідовне проектування радіаційних кластерів на площину контрольованої території в певному сенсі аналогічно до процедури операторного відновлення зображення (формула 2). Надалі становить певний інтерес дослідження питань щодо інтеграції кластерного аналізу з геоінформаційними системами.

Список використаних джерел

- Василенко, Г., Тараторин, А. (1986). Восстановление изображений. М.: Радио и связь.
- Мандель, И. (1988). Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика.
- Некос, В.Ю., Юшманова, І.П., Пеліхатий, М.М. (2007). Розробка систем радіаційного моніторингу довкілля. *Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології*, 9, 52–62.
- Некос, В., Пеліхатий, М., Юшманова, І. (2008). Методи і алгоритми визначення радіаційного стану довкілля. *Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології*, 1–2 (11–12), 90–98.
- Полищук, Ю.М. и др. (2005). Геоинформационная методология анализа радиационного загрязнения речных систем. *Проблемы анализа риска*, т. 2, 3, 208–220.
- Atsushi, I., Shintaro, S., Atshushi, M. et al. (2014). A cluster analysis of constant ambient air monitoring data from the Kato region of Japan. *Int. J. Res. Public Health*, 11 (7), 6844–6855.
- Duran, B., Odell, P. (1974). Cluster analysis. Springer-Verlag, Berlin.
- Pinero-Garcia F., Ferro-García, M., Chham, E. (2015). A cluster analysis of back trajectories to study the behavior of radioactive aerosols in the south-east of Spain. *J. Environ Radioact.*, 142–152.
- Saksena S. Joshi, V., Patil, R. (2003). Cluster analysis of Delhi's ambient air quality data. *J. Environ. Monit.*, 5, 491–499.

References

- Atsushi, I., Shintaro, S., Atshushi, M. et al. (2014). A cluster analysis of constant ambient air monitoring data from the Kato region of Japan. *Int. J. Res. Public Health*, 11 (7), 6844–6855.
- Duran B., Odell, P. (1974). Cluster analysis. Berlin: Springer-Verlag.
- Mandel, I. (1988). Klasternyi analiz. Moscow: Finansy i statistika. [In Russian]
- Nekos V., Pelikhatyi, M., Yushmanova, I. (2008). Metody i alhorytmy vyznachennia radiatsiynoho stanu dovkillia. *Zhurnal naukovykh prats: Liudyna i dovkillia. Problemy neoeekologii*, 1-2 (11-12), 90 – 98. [In Ukrainian]
- Nekos, V., Yushmanova, I., Pelikhatyi, M. (2007). Rozrobka system radiatsiynoho monitorynhu dovkillia. *Zhurnal naukovykh prats: Liudyna i dovkillia. Problemy neoeekologii*, 9, 52 – 62. [In Ukrainian]
- Pinero-Garcia, F., Ferro-Garcia, M., Chham, E. (2015). A cluster analysis of back trajectories to study the behavior of radioactive aerosols in the south-east of Spain. *J. Environ Radioact.*, 142–152.
- Polyschuk, Yu., Peremytna, T., Kocherhyn, H. (2014). Heoynformatsyonnaia metodolohiia analiza radyatsiynoho zahriaznennia rechnykh system. *Problemy analiza ryska*, V. 2, 3, 208–220. [In Russian]
- Saksena, S., Joshi, V., Patil, R. (2003). Cluster analysis of Delhi's ambient air quality data. *J. Environ. Monit.*, 5, 491–499.
- Vasilenko G., Taratorin, A. (1986). Vosstanovleniye izobrazheny. Moscow: Radio i svayz. [In Russian]

Надійшла до редколегії 17.02.19

O. Getmanets, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.
E-mail: getmanets54@gmail.com;
A. Nekos, Dr. Sci. (Geogr.), Prof.
E-mail: nekos@karazin.ua;
M. Pelikhatyi, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
E-mail: nikolay42@gmail.com
V. Karazin Kharkiv National University

CLUSTER ANALYSIS AND RADIATION MONITORING OF ENVIRONMENT

Building a background radiation field on the ground on the basis of measurement data taken at a finite number of points is one of the most important tasks of radiation monitoring. The aim of the work: to study the possibility of applying cluster analysis for the tasks of radiation monitoring of the environment. Cluster analysis is a multidimensional statistical analysis. Its main purpose is to split the set of objects under study (observation points) into homogeneous groups or clusters, that is, the task of classifying data and identifying the corresponding structure in them is solved. Methods of research: the measurements of the power of the ambient dose of continuous X-ray and gamma radiation on the terrain by using the MKS-05 dosimeter "TERRA-0"; processing of the obtained data by cluster analysis methods using the computer program "Statistics-10", wherein each cluster point is characterized by three coordinates: two coordinates on the ground and the power of the ambient dose of radiation at a given point; Euclidean distance was chosen as the distance between two points. Results: after processing data using various clustering methods: the method of Complete Linkage, the method of Weighted pair-group average and the Ward's method, it was found that the results of the analysis practically coincide with each other, that proves the reliability of the application of cluster analysis for the tasks of radiation monitoring of the environment and mapping of radiation pollution. Conclusions: the concept of a "radiation cluster" was first formulated in this work, combining coordinates on a plane with an ambient dose rate; the possibility of using cluster analysis to construct a map of radiation pollution of the environment has been proved by sequential projection from more connected to less connected radiation clusters onto the plane of the controlled zone. In this sense, cluster analysis is similar to the operator approach to the construction of the radiation field. For further research, it is of some interest to study the issues of integration of cluster analysis with geographic information systems.

Keywords: radiation monitoring, X-ray and gamma radiation, cluster analysis.

O. Гетманец, канд. физ.-мат. наук, доц.
E-mail: getmanets54@gmail.com;
А. Некос, д-р геогр. наук, проф.
E-mail: nekos@karazin.ua;
Н. Пелихатий, д-р физ.-мат. наук, проф.
E-mail: nikolay42@gmail.com;
Харьковский национальный университет им. В. Каразина,
Пл. Свободы, 6, г. Харьков, 61022, Украина

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ И РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Построение поля радиационного фона на местности на основании данных измерений, проведенных в конечном числе точек – одна из важнейших задач радиационного мониторинга. Цель работы: исследование возможности применения кластерного анализа для задач радиационного мониторинга окружающей среды. Кластерный анализ является многомерным статистическим анализом. Его главное назначение – разбиение множества исследуемых объектов (точек наблюдений) на однородные группы или кластеры, то есть решается задача классификации данных и выявления в них соответствующей структуры. Методы исследований: измерение мощности ambientной дозы непрерывного рентгеновского и гамма-излучения на местности с помощью дозиметра MKS-05 "TERRA-0", обработка полученных данных методами кластерного анализа с применением компьютерной программы "Statistics-10", при этом каждая точка кластера характеризовалась тремя координатами: двумя координатами на местности и мощностью ambientной дозы излучения в данной точке; в качестве расстояния между двумя точками было выбрано евклидово расстояние. Результаты: после обработки данных с применением различных способов кластеризации: метода ближнего соседа, метода взвешенного попарного среднего и метода Варда было установлено, что результаты анализа качественно практически совпадают между собой, что доказывает достоверность применения кластерного анализа для задач радиационного мониторинга местности и построения карт радиационного загрязнения. Выводы: в работе впервые сформулировано понятие "радиационного кластера", объединяющего координаты на плоскости с мощностью ambientной дозы; доказана возможность применения кластерного анализа для построения карты радиационных загрязнений окружающей среды путем последовательного проектирования от более связанных до менее связанных радиационных кластеров на плоскость контролируемой зоны. В этом смысле кластерный анализ аналогичен операторному подходу к построению поля радиации. Для дальнейших исследований представляет определенный интерес изучение вопросов интеграции кластерного анализа с геоинформационными системами.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, рентгеновское и гамма-излучение, кластерный анализ.

УДК 551.510.42

Ю. Тютюнник¹, д-р геогр. наук, проф., пров. наук. співроб.

E-mail: yulian.tyutyunnik@gmail.com;

О. Шабатура², канд. геол. наук, асист.,

E-mail: dard@ukr.net;

О. Блюм¹, канд. біол. наук, ст. наук. співроб.

E-mail: oleg_blum@ukr.net;

Дж. Дауніс-і-Естадел'я³, PhD (Mat.), проф.

E-mail: repus.daunis@udg.edu

¹Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України

вул. Тимірязєвська, 1, м. Київ, 01014, Україна

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

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

³Університет Жирони, Відділення інформатики, прикладної математики і статистики

Кампус Монтеліві Е-17071а, м. Жирона, Іспанія

ГЕОСТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ АТМОГЕОХІМІЧНОГО ПОЛЯ В ПРИЗЕМНОМУ ШАРІ АТМОСФЕРИ ПІВНІЧНОЇ УКРАЇНИ (ЗА ДАНИМИ БРІОГЕОХІМІЧНОЇ ІНДИКАЦІЇ)

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

Бріогеохімічна індикація забруднення атмосфери центральної частини Північної України здійснюється на основі використання моху виду *P.schreberi*. Система відбору проб моху передбачала емпіричну прив'язку до конкретної фізико-географічної зони, урахування віддаленості від джерела атмосферного забруднення, що дозволило розробити градацію природних і техногенних умов накопичення хімічних елементів у зразках моху. Дані щодо вмісту хімічних елементів у моху-індикаторі аналізувалися за допомогою методів факторного аналізу, картографування просторових кореляцій значущих факторів, центрованих трикутних діаграм і композиційного біплоту, що дало змогу сформувати єдиний гіперпростір геохімічних факторів і причин з наступною його інтерпретацією. Провідним фактором бріогеохімічної індикації є забруднення повітря крупнодисперсним пилом природного теригенного і техногенного походження; дещо меншим за впливом виступає фактор дрібнодисперсних техногенно-конденсаційних аерозолів; третій фактор ідентифікується за поведінкою титану і ванадію як вплив теплоенергетичних (ТЕС, котельні) атмосферних викидів; четвертий – чинник біогенезу, що виявляється активною роллю мікроелементів – сірки і фосфору; п'ятий – біогенний чинник мікроелементів – бор, мідь і кобальт. Шостий фактор слабкий та, імовірно, за поведінкою марганцю і хром, пов'язаний з Eh–pH параметрами атмосферних опадів і гідрометеорів.

Регіональний геостатистичний аналіз бріогеохімічних даних свідчить, що чинник теригенного пилопідйому в межах дослідженої території виявляє просторову строкатість унаслідок відмінності в гранулометричному складі четвертинних відкладів, ступені задернованості і розораності ґрунтів, різницями в приземних швидкостях вітру. Просторову неоднорідність має фактор техногенезу, про що свідчить розпорошеність точок кластерів Fe–S–Pb та V–Cd–Pb на діаграмах біплоту. Натомість такий геохімічний чинник, як "біогенез" проявляє невисоку просторову варіабельність.

Бріогеохімічна індикація є хорошим методом оцінки і моніторингу атмосферного забруднення великих і різноманітних за природними і техногенними умовами територій, а запропонований геостатистичний комплекс картографування атмогеохімічного поля показав свою ефективність у розділенні територій за типом забруднення.

Ключові слова: бріогеохімічна індикація, біплот, картографування факторів, геостатистичний аналіз, атмогеохімічне поле, північна Україна.

Вступ. Бріогеохімічна індикація – метод оцінки вмісту в атмосферному повітрі хімічних елементів на основі вимірювання їхньої концентрації в моховому покриві. Вважається, що деякі з вищих мохів поглинають хімічні елементи цілком або переважно з повітря, опадів, гідрометеорів і тому можуть служити хорошими індикаторами атмогеохімічних особливостей тих чи інших територій. Для Європи розроблено програму бріогеохімічного моніторингу (Harmens et al., 2015), регулярно, через кожні 5 років, видаються атласи забруднення атмосферного повітря за даними вмісту хімічних елементів у мохах (оскільки стан техногенного забруднення з часом змінюється). У рамках зазначеної європейської програми виконана ця робота.

Загалом для As, V, Cd, Cr, Zn, Ni, Fe, Pb в останні десятиріччя відзначається зниження концентрацій, від 21 до 77 %, але зі збереженням найвищих медіанних концентрацій в південно-східній Європі (Aničić M. et al., 2018), зокрема в Україні по Al, Fe, V, Cr (Harmens et al., 2015; Lazo P. et al., 2018).

Матеріали і методи дослідження. Моху-індикатори. Згідно із загальноєвропейськими рекомендаціями (Heavy Metals, 2015) на континенті рекомендовано використовувати наземні мохи таких видів: *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.; *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. та *Hypnum cupressiforme* Hedw.; *Brachythecium oedipodium* (Mitt.) A. Jaeger; *Abietinella abietina* (Hedw.) Fleisch. та деякі ін. Але, як показали наші дослідження, у фізико-географічних умовах рівнинної частини України в

межах зони мішаних лісів і північного лісостепу практично придатними для використання у бріогеохімічних дослідженнях забруднення атмосфери є мохи *P.schreberi* та *B.oedipodium* – як такі, що мають найбільше розповсюдження в різних едафічних і техногенних умовах. Утім, при використанні двох видів мохів виникає серйозна методична проблема. Мох *P.schreberi* зустрічається здебільшого в шпилькових (сосна, ялина) фітоценозах, а *B.oedipodium* – у змішаних і листяних. Тому на рівнинних територіях *P.schreberi* краще підходить для індикації в умовах зони мішаних лісів, а *B.oedipodium* – в умовах лісостепу, де *P.schreberi* трапляється рідше. В ідеалі слід було б використовувати обидва види, але вони мають різні накопичувальні властивості і тому як індикатори емпірично не зіставляються, тобто не можна за геохімічними параметрами порівнювати пункти пробовідбору плеврозіуму з такими брахітеціуму. Для такого порівняння слід зробити інтеркалібрацію вмісту хімічних елементів у цих двох видах, але ця робота ще не виконана, і тому в даній статті ми обмежимося використанням даних лише щодо вмісту хімічних елементів у моху *P.schreberi*. Його розповсюдження дуже добре на Поліссі й гірше в північному лісостепу, де він зустрічається здебільшого в терасових борах і штучних шпилькових насадженнях, зокрема в соснових меліоративних посадках по балках.

Мережа пробовідбору і відбір проб. Зразки моху *Pleurozium schreberi* відбиралися з поверхні землі, опадів та відпаду в межах поліської та лісостепової частин Жи-

томирської й Київської областей, а також північно-західної частини Чернігівської області. Територія Зони відчуження ЧАЕС з технічних причин була виключена з мережі пробовідбору. Розташування пунктів відбору проб, а також технологія самого пробовідбору проводилися згідно з рекомендаціями, поданими в *Heavy Metals* (2015), але з деякими уточненнями й удосконаленнями з погляду на умови досліджуваної території. Зокрема: 1) обов'язково враховувалася емпірична прив'язка точки пробовідбору до зони мішаних лісів ("Полісся") чи до північного лісостепу ("лісостеп"); 2) фіксувалася близькість-віддаленість пункту пробовідбору до будь-яких джерел локального (почасти регіонального) забруднення атмосфери ("техноген", "напівфон", "фон"). При врахуванні зональних особливостей не завжди просто було однозначно віднести точку відбору проби до лісостепу чи

Полісся в умовах екотонного характеру межі між ними та в деяких специфічних фізико-географічних умовах (напр., на Овруцькому кряжі). При врахуванні близькості-віддаленості до джерела (джерел) атмосферного забруднення досить часто доводилося враховувати польовий емпіричний досвід та інтуїцію, аніж дотримуватись певних формальних критеріїв. Точки пробовідбору групувалися так: а) у безпосередній близькості до зон техногенезу або в самих їхніх межах ("техноген"), б) в умовах незначного та помірного локального забруднення ("напівфон"), в) в умовах відсутності або віддаленості джерел локального забруднення ("фон"). Кількість пунктів відбору проб по групах "Полісся" і "лісостеп", а також по угрупованнях "фон", "напівфон", "техноген" представлена в табл. 1.

Таблиця 1

Усереднений вміст (мкг/г повітряно-сухої маси) хімічних елементів у зразках моху *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., відібраних у різних природних і техногенних умовах у Житомирській, Київській та Чернігівській областях у 2015–2017 рр.

Групи точок	Вміст хімічних елементів																				
	K	Ca	Mg	S	Al	Fe	Mn	Na	P	Zn	Ba	Sr	Ti	B	Cu	Pb	Ni	Cr	V	Se	Cd
уся досліджена територія																					
усі точки 76	6712	3532	1298	1288	793	611	601	479	421	34,3	24,0	19,2	18,7	15,8	13,3	5,2	4,1	2,7	1,9	0,61	0,47
за природними умовами формування атмосферного забруднення																					
Полісся 59 точок	6534	3446	1262	1275	676	586	602	484	400	35,5	22,9	15,4	16,7	13,1	12,6	5,6	4,0	2,7	1,6	0,68	0,49
лісостеп 17 точок	7327	3829	1422	1331	1199	699	596	462	494	30,2	27,6	32,5	25,7	25,2	15,6	4,0	4,5	3,0	2,8	0,36	0,40
за техногенними умовами формування атмосферного забруднення																					
фон 33 точки	6558	3443	1251	1257	757	546	618	484	412	31,9	21,8	17,5	16,7	14,9	12,4	5,0	4,0	2,6	1,7	0,54	0,46
напівфон 29 точок	6937	3702	1390	1334	855	678	531	507	486	34,4	26,2	21,2	21,4	17,0	14,3	5,2	4,1	2,8	2,1	0,67	0,48
техноген 14 точок	6607	3389	1218	1263	748	627	703	409	307	39,6	24,5	19,3	17,9	15,4	13,4	5,9	4,3	3,0	1,8	0,66	0,48

Лабораторно-аналітичні роботи. Проби моху висушувалися до вітряно-сухої ваги, очищалися від сміття і домішок. Для аналізу використовувалися зелені гілочки, приблизно верхня 1/3 частина пагона. Біоматеріал подавався мокрому озоленню в азотній кислоті ("ОСЧ") у мікрохвильовій печі MWS-2 (Berghof, Німеччина). Отриманий розчин аналізувався методом плазмово-емісійної спектроскопії на спектрометрі ICAP 6300 DUO (Thermo-Fisher Co., США). Визначалися такі хімічні елементи: K, Ca, Mg, S, Al, Fe, Mn, Na, P, Zn, Ba, Sr, Ti, B, Cu, Pb, Ni, Cr, V, Se, Cd, Co, Sb. Вміст їх у моху виражався в мкг/г (що тотожно $\cdot 10^{-4}$ %).

Геостатистична обробка даних. Дані щодо вмісту хімічних елементів у моху-індикаторі аналізувалися за допомогою методів факторного аналізу, картографування просторових кореляцій значущих факторів, центрованих трикутних діаграм і композиційного біплоту. Перші три гарно відомі в геохімії навколишнього середовища і ми не будемо на них зупинятися. Щодо відносно нової для геостатистичного моделювання геохімічних процесів моделі біплот, то зазначимо, що вона має перевагу в наочності. Модель уявляється своєрідним графіком ("зіркою біплот"), який за соєю математичною сутністю є проекцією на площину гіперпростору маркерів геохімічних факторів і чинників (рис. 1).

Маркерами є хімічні елементи, а довжина променя l чисельно представлена залежністю

$$l = \sum_k \text{var}[X_i] / k, \quad (1)$$

де $\text{var}[X_i]$ – дисперсія маркера $[X_i]$ (хімічного елемента); k – кількість маркерів, що формують k –мірний гіперпростір.

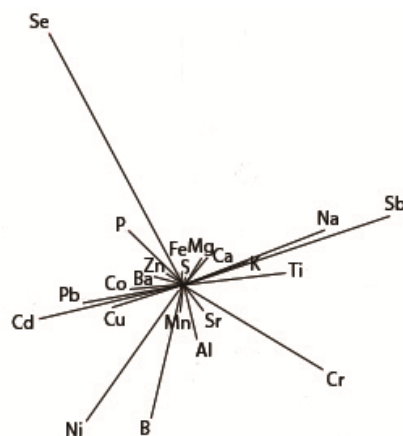


Рис. 1. Графік композиційного біплоту, що відображає проекцію на площину гіперпростору геохімічних чинників і умов формування елементного складу проб моху *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., відібраних у Житомирській, Київській та Чернігівській областях у 2015–2017 рр.

Кути між променями (які у математичному гіперпросторі є між усіма променями!) мають кількісний вираз:

$$\cos \phi = \sum \sum \lambda_i \mu_k \cos \Theta_{ik} \quad (2)$$

де $\lambda_i = \frac{x_i}{\rho}$ та $\mu_k = \frac{y_k}{\rho}$ – направляючі відношення в озна-

кових координатах; $\rho = \sqrt{\sum \sum x_i x_k \cos \Theta_{ik}}$ та

$q = \sqrt{\sum \sum y_i y_k \cos \Theta_{ik}}$ – відстані від початку координат

до довільної точки в k -мірному просторі; Θ_{ik} – кут між осями x_i і x_k . Зазначимо, що нами застосовувався особ-

ливий різновид біплоту – композиційний. Від звичайного біплоту він відрізняється тим, що при розрахунках вихідні дані вводяться у векторному, а не скалярному вигляді. Емпірично "векторами" виступають рядки таблиці даних концентрацій всіх 23 хімічних елементів щодо кожної проби (1 рядок/проба = 1 CoDa). Такі дані називають складеними (CoDa), теорія їхнього створення і обрахунку в моделі "біплот" викладена в (Aitchison, 2003; Aitchison, Greenacre, 2002; Martín-Fernández et al., 2004).

Геохімічні засади інтерпретації геостатистичних моделей. Пошук відповідей на сформульовані вище питання груп "а" і "б" базувалася на таких положеннях геохімії навколишнього середовища, як учення про типоморфні хімічні елементи і концепція гіперпростору геохімічних факторів і причин. Учення про типоморфність хімічних елементів – одна з базових засад феноменологічної геохімії, згідно з якою вважається, що аномалія (додатна або від'ємна) вмісту в компоненті довкілля того чи іншого хімічного елемента або їхньої групи (асоціації) говорить нам про дію і вплив у даному місці певного геохімічного чинника, процесу, умови тощо (Kust, 1987; Саєт і др., 1990; Тютюнник, 2000). Типоморфний хімічний елемент – це маркер, індикатор якоїсь геохімічної причини. Оскільки йдеться про статистичний аналіз, то з математичної точки зору "маркувальне" значення будь-якого хімічного елемента має імовірнісний характер. На основі літературних даних і власного досвіду біогеохімічної індикації (Тютюнник і др., 2006; 2007; 2012) стисло охарактеризуємо найголовніші індикаційні властивості хімічних елементів, що нами визначалися у пробах мохів у межах зазначеної території. На інших територіях, в інших природних і особливо техногенних умовах індикаційні властивості визначених хімічних елементів можуть бути іншими.

K, Ca, Mg, Al, Fe, Na, Sr, Ti – група хімічних елементів, характерних для теригенного пилу, причому диференціація концентрації мікроелементів, обумовлюється відмінностями літології, величини зерен пилу із джерел їхньої емісії (Hofer et al., 2013). Крім цього, K є важливим біогеном, вміст якого в рослинах в умовах потужного техногенезу в силу фізіологічних причин може суттєво зменшуватися. Ca і Mg є також і маркерами процесів техногенезу в будівдустрії й будівництві. Ti є маркером процесів техногенезу в титановій гірничодобувній, гірничозбагачувальній промисловості, а також у целюлозно-паперовій (використовується TiO₂). Al чутливо реагує на рН атмосферних опадів, збільшуючи рухомість у кислому середовищі; підкреслюючи зв'язок з високомобільною фракцією в ґрунтових продуктах високого ступеня вивітралості (Lazo P. et al., 2018). Натомість діаграми Al-Ti використовуються для геохімічної інтерпретації джерел теригенного пилу: базальтового, середнього і гранітного складу (Huisman et al., 2000), а Al-K – для дискримінації їх за літологічним складом (Cox et al., 1995). Fe – індикатор крупнодисперсного пилу, що утворюється в результаті корозії й механічної дезінтеграції

рухомих частин машин, механізмів. На може виступати маркером протиожеледних заходів на автомобільних дорогах. Sr може вказувати на забруднення довкілля стро-нцієм-90 (у нашому випадку від аварії на ЧАЕС).

Групу хімічних елементів Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, V, Co, Cd звичайно називають важкими металами (ВМ) і пов'язують з різноманітними, здебільшого пірогенними, процесами техногенезу. Вважається, що важкі метали мігрують у повітрі здебільшого у формі дрібнодисперсних аерозолів конденсації й здатні розноситися на великі відстані. Крім цього, Zn, Cu як біогенні мікроелементи можуть бути маркерами розвитку і підсилення процесів біогенезу, а Pb, Cr, Cd – навпаки, індикаторами пригнічення процесів життєдіяльності рослин, у тому числі й мохів. V часто розглядають як маркер атмосферного забруднення високими (через димові труби) атмосферними викидами ТЕС і котельних, а Pb – як маркер низьковисотних, переважно автотранспортних, викидів. Ni, Co, Cd можна вважати ще й маркерами дальнього – регіонального і глобального – атмосферного перенесення забруднювальних речовин на територію дослідження ззовні. Майже всі ВМ із зазначеного списку є індикаторами впливу на довкілля різних галузей машинобудування, хімічної, цементної промисловості.

Сірка є маркером пірогенних викидів SO₂ і кислих опадів. Водночас сірка є і важливим біогеном. Біогенним хімічним елементом є також Р. А Mn як полівалентний елемент є найкращим індикатором рН і Eh умов атмосферної та біогенної міграції природних речовин і продуктів техногенезу (добрим індикатором цього є також хром).

Як зазначається в *Heavy Metal* (2015), у 2005 р. до списку пріоритетних забруднювачів повітря у Європі було введено також стибій. Цей металод має сильні антифрикційні властивості й тому разом з оловом (сплав бабіт) набув широкого використання в підшипниках ковзання. Різновидом останніх є гальмівні колодки. Тому Sb масово надходить у придорожні ландшафти. Аерозолі, що містять Sb, є дрібнодисперсними, але не пірогенними (на відміну від тих, що містять, напр., той же свинець). Тому і закономірності розподілу Sb-вмісних аерозолів у придорожних ландшафтах відрізняються від таких, характерних для автотранспортних пірогенних аерозолів конденсації. Це можна бачити на прикладі даних, що наводяться у *Ворончихина і др. (2014)*.

Індикаційні властивості В, Ва, Se на сьогодні вивчено недостатньо.

Коли типоморфні щодо певного геохімічного процесу елементи збираються в кластер, ми визначаємо сутність і природу цього процесу, тієї геохімічної причини, що обумовила виникнення саме такого кластера. Факторний аналіз і біплот використовуються для виявлення таких кластерів та їхньої подальшої емпірико-імовірнісної інтерпретації (Angelovska S. et al., 2016; Balabanova B. et al., 2016; Dimovska B. et al., 2014; Lazo P. et al., 2018). Картографічний аналіз просторових кореляцій значущих факторів і біплот дають можливість також змоделювати розподіл геохімічних чинників по території.

Результати та їхнє обговорення. Емпіричний аналіз. У табл. 1 подано дані щодо вмісту хімічних елементів у зразках моху *Pleurozium schreberi*, усереднених за виокремленими вище "природними" і "техногенними" групами пробовідбору. Як бачимо з рядка "усі точки", порядок розташування хімічних елементів є ні чим іншим, як рядом накопичення їх у моху. Але цей ряд не є строгим. Залежно від природних та/або техногенних умов накопичення хімічних елементів деякі з хімічних елементів, особливо ті, регіональні кларки яких для моху *P. schreberi* є

близькими, міняються місцями. У групі "Полісся" послідовність нагромадження у моху не витримується для сукупностей Fe/Mn, Sr/Ti; у групі "лісостеп" – для Na/P, Zn/Ba/Sr, Pb/Ni, Se/Co; у групі "фон" – для сукупностей Mg/S, Fe/Mn; у групі "напівфон" – для Sr/Ti; у групі "техноген" – для Mg/S, Fe/Mn. Найближчим до порядку елементів у ряду накопичення "усі точки" є їхній порядок у ряду групи "напівфон", тут порядок накопичення порушується лише парою Sr/Ti та й то в межах статистичної похибки ("21,2" проти "21,4"). Можемо припустити, що загальний ряд накопичення хімічних елементів у моху *P. schreberi* з найбільшою вірогідністю відбиває умови їхнього накопичення в ньому, властиві для напівфонових умов, тобто для територій помірного та/або малопомітного техногенезу. Інша цікава особливість щодо порушення послідовності нагромадження хімічних елементів у моху полягає в тому, що найчастіше в ряду накопичення міняються місцями залізо і марганець, причому з досить помітними відмінностями в концентраціях (2,7 %, 10,8 % і 11,7 %). Ми вважаємо, що це є свідченням "надмірної" чутливості марганцю до pH і Eh атмосферних опадів і гідрометеорів.

На деякі важливі міркування наводять дані щодо розподілу за групами точок пробовідбору найвищих і найнижчих концентрацій хімічних елементів у моху. 15 із 23 елементів концентруються краще в лісостепових про-

бах, аніж поліських. Насамперед це стосується елементів, властивих природному пилові (K, Ca, Mg, Al, Fe, Ti). Це зрозуміло, оскільки природний пилоподійом у лісостепу вищий, аніж у зоні мішаних лісів (через більш високі швидкості вітру, більшу розораність і дрібніший гранулометричний склад четвертинних відкладів). Щодо типових продуктів техногенезу, то одні з них більш нагромаджені в поліських пробах (Mn, Zn, Pb, Cd, Sb), інші – у лісостепових (S, Cu, Ni, Cr, Co).

Розподіл хімічних елементів за групами точок за умовами й інтенсивністю атмосферного забруднення такий. Максимального вмісту в мохах групи "фон" не спостерігається для жодного хімічного елемента, натомість у них найбільша кількість елементів з мінімальними концентраціями (17 із 23), що є закономірним. Зокрема, тут найнижчі концентрації важких металів Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, V, Cd, Co, Sb. Найбільше забруднені проби групи напівфону: 15 хімічних елементів (із 23) із максимальними концентраціями і лише один (Mn) з мінімальною. Причому високий і підвищений вміст спостерігаються переважно для елементів теригенного пилу. Натомість більшість важких металів (Mn, Zn, Pb, Ni, Cr, Cd, Co, Sb) краще накопичуються у пробах групи "техноген".

Загальний геостатистичний аналіз. У табл. 2 подано результати факторного аналізу для усієї вибірки проб, а на рис. 1 – результати моделювання цієї вибірки методом "композиційний біплот".

Таблиця 2

Результати факторного аналізу даних про вміст хімічних елементів у зразках моху *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., відібраних у Житомирській, Київській і Чернігівській областях в 2015–2017 рр.
(напівжирним підняті статистично значимі коефіцієнти)

Хімічні елементи	Коефіцієнти факторних навантажень					
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆
K	0,575	0,174	–0,057	0,088	0,016	0,616
Ca	0,876	0,154	–0,037	–0,109	0,110	0,084
Mg	0,854	0,122	0,051	0,100	–0,148	0,058
S	0,324	0,068	0,262	0,690	0,100	0,052
Al	0,339	–0,151	0,321	0,072	0,256	0,612
Mn	–0,014	0,060	–0,065	0,046	0,131	0,503
Fe	0,788	–0,172	0,118	0,130	0,122	0,007
Na	0,632	0,327	0,047	–0,514	–0,002	–0,151
P	–0,140	0,189	0,007	0,794	0,095	–0,034
Zn	0,250	–0,186	–0,564	0,251	0,107	0,028
Ba	0,581	–0,390	0,469	0,085	–0,187	0,147
Sr	0,010	0,181	0,575	0,107	0,577	0,093
Ti	0,344	0,318	0,777	0,127	0,158	–0,021
B	0,028	–0,087	0,084	–0,131	0,816	0,403
Cu	–0,049	–0,296	–0,096	0,098	0,835	0,082
Pb	–0,058	–0,690	–0,401	0,042	0,108	–0,113
Ni	–0,101	–0,838	–0,034	–0,135	0,191	0,180
Cr	–0,118	0,202	0,298	–0,306	–0,173	0,554
V	0,061	–0,071	0,761	0,277	0,160	0,171
Se	0,529	0,152	–0,289	–0,055	0,022	–0,477
Co	0,068	–0,124	0,103	0,190	0,651	–0,085
Cd	0,058	–0,872	–0,167	–0,037	0,024	–0,141
Sb	0,258	0,685	–0,235	0,093	–0,328	0,213
Відсоток накопиченої дисперсії	20,5	16,2	12,9	7,74	6,84	5,96

При інтерпретації результатів факторного аналізу до уваги, як основні індикаторні хімічні елементи, бралися ті, що мають за модулем коефіцієнти факторних навантажень (КФН) не менше 0,7 і як допоміжні – з КФН не менше 0,6.

Для F₁, як бачимо з табл. 2, основними індикаторними елементами є Ca/Mg/Fe і допоміжним – Na. Усі вони входять до складу крупнодисперсного природного пилу. То ж F₁ у першому наближенні відбиває вплив на мохи природного пилу. До такого висновку ми приходили раніше (Тютюнник і др., 2005), і його ж дотримуються

інші автори, які вивчали забруднення атмосфери шляхом факторного аналізу даних біогеохімічної індикації (Stain et al., 2001, Culicov et al., 2002, Frontasyeva et al., 2002). Цей потужний фактор – "ґрунтове джерело", наприклад, сягає 34,3 % накопиченої дисперсії в дослідженні (Lazo P. et al., 2018).

Утім відсутність в асоціації Al наштовхує на певні коригування цієї думки. Для природного крупнодисперсного пилу Al як "провідний" компонент алюмосилікатів – притаманний, для техногенного – ні. Тому, якщо Al з асоціації випадає, то є підстави припустити, що причина не

тільки в природному пилові. Тому в цій роботі ми інтерпретуємо F_1 як фактор, що відбиває забруднення повітря крупнодисперсним пилом і природного теригенного і техногенного походження. Таке припущення підкріплюється тим фактом, що Са є маркером не тільки теригенного крупнодисперсного пилу, а й того, що утворюється в будіндустрії й будівництві, а Fe є потужним маркером крупнодисперсного пилу, що виникає при корозії й механічній дезінтеграції металевих частин машин і механізмів.

У біплоті асоціація Са/Mg/Fe теж має достатню статистичну репрезентативність, оскільки її промені проходять через гущу точок в ознаковому гіперпросторі. Але внаслідок того, що їхні проекції квазівертикально спрямовані, немовби направлені "на читача" (рис. 1), створюється їхнє скупчення у центрі графіка, що не перешкоджає адекватній візуальній оцінці їхніх фактичних довжин.

Водночас біплот показує, що інші важливі теригенні елементи – K, Na, Ti досить відчутно відриваються від асоціації Са/Mg/Fe. Sr також далеко відходить від свого природного геохімічного аналога Са. Із групи теригенів випадає і Al (аналогічно тому, як це мало місце у факторному аналізі). Усе це в сумі є непрямим свідченням того, що у формуванні регіонального атмосферного навантаження крупнодисперсним теригенним пилом процеси "дезінтегративного техногенезу" відіграють роль важливішу, аніж це вважалося раніше. У роботі (Дьяченко і Матасова, 2015), наприклад, показано, що прискореному забрудненню ґрунтів важкими металами в 1990-х рр. у деяких районах Росії сприяло інтенсивне розвантаження і переважання металевого лому – типові процеси, що викликають механічну дезінтеграцію й утворення відповідних крупнодисперсних аерозолів.

У роботах, в яких застосовувалася факторизація біо-геохімічних даних (Тютюнник і др., 2005; Stain et al., 2001; Culicov et al., 2002; Frontasyeva et al., 2002; Lazo P. et al., 2018), говориться, що другий або третій, після "теригенно-пилового", фактор є фактором атмосферного забруднення довкілля техногенними викидами промисловості й транспорту, які із згідно сучасними уявленнями геохімії навколишнього середовища (Саєт і др., 1990) формуються здебільшого дрібнодисперсними аерозолями конденсації. Типовими компонентами цих аерозолів вважаються важкі метали Zn, Cu, Pb, Ni, Co, Cd. Згідно з табл. 2 усі ці хімічні елементи мають спільним те, що їхні КФН по F_2 від'ємні. Але лише для Pb, Ni та Cd КФН за абсолютними значеннями досягають таких величин, що ці елементи можна вважати такими, які достеменно відбивають дію певних геохімічних причин (утім факт від'ємних значень КФН для Zn, Cu і Co теж цілковито ігнорувати не слід). Можна вважати, що по F_2 окреслює вплив на мохи дрібнодисперсних техногенно-конденсаційних аерозолів. Але виявляється цей вплив досить специфічно, непрямо, не як пряме і безпосереднє зростання концентрацій ВМ у мохах. Про це говорять від'ємні значення КФН. Ми припускаємо, що через від'ємні значення КФН елементів-маркерів конденсаційних аерозолів по F_2 відображається строкатість і просторова різноманітність приземного атмосфеного поля на дослідженій території. І це розмаїття обумовлюється двома основними причинами: а) територіальною неоднорідністю техногенезу; б) просторовою неоднорідністю діяльного шару.

Ураховуючи, що механізм утворення і особливості повітряної міграції дрібнодисперсних аерозолів Sb є абсолютно несхожим на такий для аерозолів інших ВМ, що групуються по F_2 (див. вище), входження у F_2 сурми зі знаком "+" виглядає закономірним.

На біплоті (рис. 1) добре простежується протилежність променю Sb променям Cd і Pb. Натомість з останніми добре групуються промені Co і Cu, водночас

промінь Ni відхиляється дещо вбік від групи променів Pb, Cd, Cu, Co, хоч його зв'язок саме з групою важких металів усе ж таки простежується.

По F_3 маємо два достеменні і близькі за значеннями КФН: для Ti і V. У геохімії ці елементи вважаються спорідненими, наголошується на їхній змінній валентності (додатній), належності до групи літофілів (Перельман, 1989), деякій спорідненості в техногенезі (виготовлення і використання титаново-алюмінієво-ванадієвих сплавів, спільне використання в електронному приладобудуванні та ін.). Але на дослідженій території титан і ванадій, на нашу думку, маркують перш за все високі викиди, що надходять в атмосферу через димові труби. V є відомим маркером теплоенергетичних (ТЕС, котельні) атмосферних викидів. Роль титану специфічна, можна сказати, вузько регіональна. Він надходить в атмосферу дослідженої території через труби збагачувальної фабрики Іршанського ГЗК (виробництво ільменітового концентрату), а також від паперових фабрик, розміщених у Житомирі, Києві, Коростишеві, Малині, Мирополі, Обухові, смт Понінці (Полонський р-н Хмельницької обл.), с. Чижівці (Новоград-Волинський р-н Житомирської обл.) і дрібніших виробництв.

На жаль, промінь "V" на графіку біплоту не простежується (рис. 1), оскільки має напрямок, перпендикулярний до площини проекції.

Фактор F_4 легко інтерпретується як чинник біогенезу. Достеменні додатні КФН мають лише S і P, спільне між ними в даному випадку лише те, що вони – потужні макроелементи-біогени. Звертає на себе увагу також не достеменний, але помітний від'ємний КФН для Na: очевидно це "натяк" на протилежний геохімічний процес – "боротьбу" рослин з надходженням до їхніх організмів надмірної кількості фізіологічно небажаних або шкідливих елементів. F_5 ми теж інтерпретуємо як чинник біогенезу, але такий, що маркується вже не макро-, а мікроелементами – бором, міддю і з меншою імовірністю кобальтом. F_6 – фактор досить слабкий, по ньому взагалі немає явних достеменних КФН (0,7 і більше), є лише два "допоміжні", трохи більші 0,6: для Mn і Cr. Це – показники впливу на повітряну міграцію та накопичення хімічних елементів мохами Eh – рН параметрів атмосферних опадів і гідрометеорів. Вплив слабкий, але все ж таки є підстави говорити про нього.

На біплоті S і P (F_4) відбиваються погано, оскільки промінь "S" спрямований "углиб" площини проекції й тому виражений на ній недостатньо. Не можна простежити і групування променів "B" та "Cu" (F_5), а також "Mn" і "Cr" (F_6). Із цього можна зробити висновок, що модель біплот, принаймні у графічному варіанті, є слабкочутливою щодо моделювання геохімічної причинності в областях дії геохімічних факторів, потужність дії яких невисока.

Регіональний геостатистичний аналіз. Під регіональним геостатистичним аналізом розуміємо розподіл точок пробовідбору у просторі (гіперпросторі) геохімічних чинників, а також розподіл геохімічних факторів по точках пробовідбору та в їхньому околі.

Розмістивши точки пробовідбору на діаграмі біплоту, можна відстежити їхню кластеризацію в різних частинах діаграми, що окреслюються тими чи іншими променями-маркерами. Цей прийом раніше нами застосовувався (Тютюнник і др., 2007), але в цій роботі ми вдаємося до більш наочного. Скоротимо розмірність гіперпростору геохімічних чинників до трьох і використаємо трикутні діаграми, підбираючи для їхнього створення хімічні елементи таким чином, щоб вони служили найбільш характерними маркерами найважливіших геохімічних

факторів і умов. Для запобігання впливу на розташування на діаграмах точок пробовідбору абсолютних концентрацій хімічних елементів приведемо трикутні діаграми до центрованого вигляду (Martin-Fernandez et al., 2004). Спираючись на маркери основних процесів формування атмогеохімічного поля, що були нами виявлені вище, дослідимо розподіл точок пробовідбору в трикутних діаграмах (рис. 2).

З розподілу точок на діаграмі Al/Ca/Ti можемо зробити висновок, що чинник теригенного пилопідйому в межах дослідженої території є досить неоднорідним у своїх проявах, розпорошеним. Це свідчить про відносну просторову строкатість умов пилоутворення. Вона обу-

мовлюється відмінами в гранулометричному складі четвертинних відкладів, ступені задернованості й розораності ґрунтів, різницями в приземних швидкостях вітрів. На всій території дослідження переважна більшість площ представлена пухкими ґрунтами. На Поліссі їхній гранулометричний склад крупніший, ніж у лісостепу, але й зв'язність слабша. Вітровий режим напруженіший і розораність вища в лісостепових ландшафтах. На "лісостеповій" діаграмі помітна тенденція до кластеризації точок пробовідбору: у Поліссі – "Al/Ca", у лісостепу – "Ti". Імовірно, це говорить про прояв екотонного ефекту, що виражається у збільшенні розмаїття четвертинних відкладів на межі "зона мішаних лісів – лісостеп".

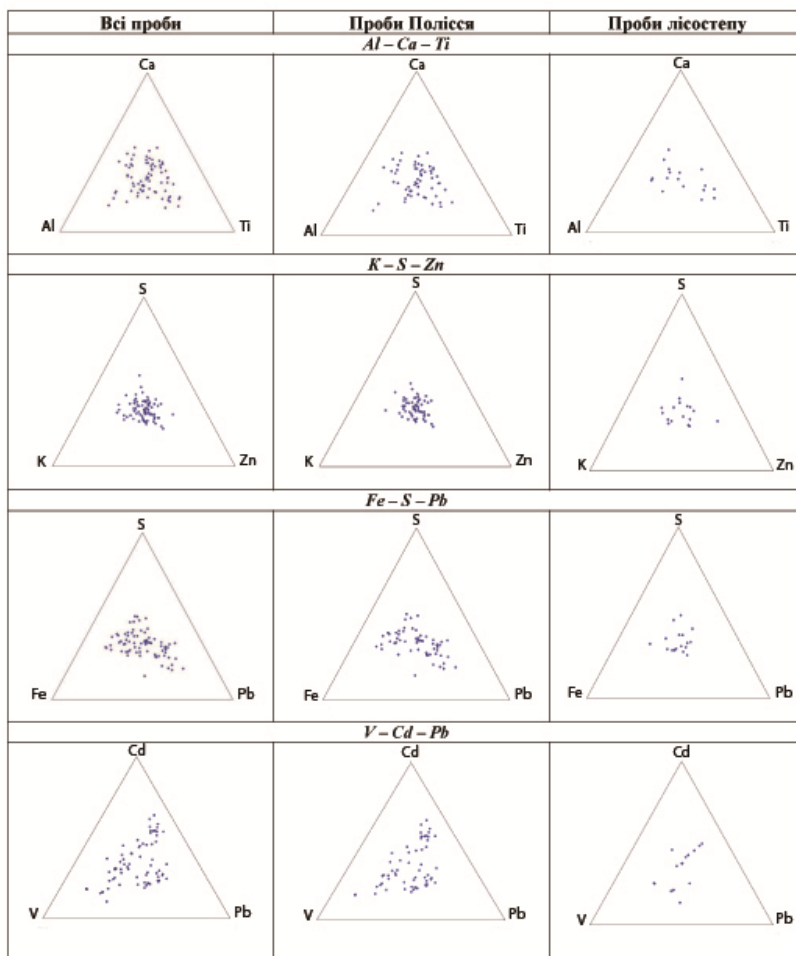


Рис. 2. Розподіл точок відбору проб моху *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. на центрованих трикутних діаграмах Al/Ca/Ti, K/S/Zn, Fe/S/Pb і Cd/V/Pb.

Діаграма K/S/Zn утворюється біогенними елементами, але такими, що мають дуже відмінні техногенно-, атмо- і біогеохімічні властивості. Незважаючи на ці відмінні, купність точок на діаграмі K/S/Zn найвища. Це говорить про невисоку просторову варіабельність такого геохімічного чинника, як "біогенез" (який у нашому випадку є біологічним механізмом поглинання, накопичення і утримання в тканинах *P. schreberi* хімічних елементів). Водночас звертає на себе увагу відносна розпорошеність точок на лісостеповій діаграмі. Це можна інтерпретувати як свідчення більшого різноманіття екологічних умов зростання і життєдіяльності *P. schreberi* в умовах лісостепового екотону, оскільки тут він зустрічається не лише в рівнинних шпилькових лісах, як переважно на Поліссі, а й у терасових борах, у різновікових меліоративних посадках на плакорах і в яружно-балкових місцинах, а також зустрічається у шпильково-листяних насадженнях.

Розподіл точок на діаграмі Fe/S/Pb може бути інтерпретований як такий, що зумовлюється просторовою неоднорідністю фактора техногенезу. Fe, S і Pb маркують складові техногенезу, різні складові процесів атмосферної міграції його продуктів, а також різні нюанси накопичення їх у рослинах моху. Тому розпорошеність точок на діаграмі, що є показником територіальних варіацій техногенезу і процесів міграції його продуктів, значна. Вона майже така, як і на діаграмі теригенного пилопідйому. Помітна тенденція до кластеризації поліських точок зі здвигом до "Pb". Це можна трактувати як підсилення ролі автомобільного транспорту в забрудненні повітряних мас в умовах слабопересіченого рельєфу Полісся, де рух повітряних мас порівняно з лісостеповими ландшафтами дещо уповільнений через вищу залісненість території.

на сході Житомирського і у Київському Поліссі, у Пороссі й лісостеповому Лівобережжі. Про прояв низьких значень F_4 з більшою або меншою достеменністю можна говорити лише для північної частини Житомирського Полісся. У багатьох точках F_4 виявляє себе мінімально, не подає ознак ні до зростання, ні до зниження інтенсивності. Вважаємо, що територіальний розподіл сили вияву F_4 відбувається, перш за все, зміни і коливання локальних екологічних умов зростання моху *P. schreberi* (різновид фітоценозу, експозиція схилу, умови зволоження тощо). Там, де вони помітно змінюються, маємо зростання і зниження величини останнього стовпчика діаграми. Там, де вони відносно стабільні у просторі, маємо малі відстані четвертого стовпчика діаграми від "нульової" горизонталі.

Висновки. 1. Біогеохімічна індикація є добрим методом оцінки і моніторингу атмосферного забруднення великих і різноманітних за природними і техногенними умовами територій. Ряд накопичення хімічних елементів, що надходять з атмосферного повітря, мохом *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. у Поліссі й північному лісостепу є таким: $K > Ca > Mg > S > Al > Fe > Mn > Na > P > Zn > Ba > Sr > Ti > V > Cu > Pb > Ni > Cr > V > Se > Cd > Co > Sb$. Залежно від місцевих умов деякі хімічні елементи в ряду накопичення можуть мінятися місцями (але не на великі "відстані"). 2. Геостатистичні методи обробки даних щодо вмісту хімічних елементів у моху-індикаторі є продуктивними і дозволяють ефективно аналізувати стан атмосферного забруднення великої території та причини його формування. Доцільно поєднання різних геостатистичних методів, а саме: факторного аналізу, картографування просторових кореляцій значущих факторів, методу центрованих трикутних діаграм, композиційного біплоту. 3. Основними чинниками формування атмогеохімічного поля у межах Житомирської, Київської та північно-східної частини Чернігівської областей є такі: природний теригенний пілопідйом і техногенне пилове навантаження крупнодисперсними аерозолями дезінтеграції (F_1); техногенне дрібнодисперсне аерозольне навантаження, яке складається із часточок конденсаційного та дезінтегративного походження, що надходять в приземну атмосферу на різних, але здебільшого малих, висотах, а також шляхом дальнього трансграничного перенесення (F_2); техногенне пилоаерозольне, яке формується високими (через димові труби) атмосферними викидами (F_3). 4. Фактор F_1 найвиразніше виявляє себе на територіях гірничих розробок Житомирщини та прилеглих до них районів, на околицях і в радіусі впливу деяких міст, а також біля військових полігонів Житомирщини і Чернігівщини. F_2 з найбільшою силою дає себе взнаки на фонових і напівфонових територіях Житомирського і Київського Полісся. Фактор впливу F_3 найбільш високі значення має у західній, центральній, пізденній частинах Житомирщини.

Список використаних джерел

- Ворончихина, Е.А., Шукин, А.В., Шукина, Н.И. (2014). К оценке геохимического состояния урбоэкосистемы Перьми в связи с использованием противогололедных реагентов. *Географический вестник*, 2(29), 79-94.
- Дьяченко, В.В., Матасова, И.Ю. (2015). Загрязнение и динамика микроэлементов в почвах Юга России. *Геоэкология*, 4, 324-332.
- Кист, А.А. (1987). Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии. Ташкент: Фан.
- Перельман, А.И. (1989). Геохимия. Москва: Высш. школа.
- Сает, Ю.Е., Ревич, Б.А., Янин, Е.П., Смирнова, Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко, Т.Л., Павлова, Л.Н., Трефилова, Н.Я., Ачкасов, А.И., Саркисян, С.Ш. (1990). Геохимия окружающей среды. М.: Недра.
- Тютюнник, Ю.Г., Блюм, О.Б., Шабатура, А.В. (2005). Атмосферное загрязнение мышьяком и тяжелыми металлами Украинских Карпат и предгорных территорий. *География и природные ресурсы*, 1, 138-146.
- Тютюнник, Ю.Г., Горлицький, Б.А. (2000). Техногенне забруднення міських ґрунтів України (феноменологічний аналіз). *Доповіді НАН України*, 6, 208-211.

Тютюнник, Ю.Г., Даунис-и-Эстаделья, Дж., Блюм, О.Б., Мартин-Фернандес, Дж.-А. (2012). Исследование генетически различных полей загрязнения охраняемой территории: геостатистический анализ данных биоиндикации. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология*, 4, 336-343.

Тютюнник, Ю.Г., Мартин-Фернандес, Дж.-А., Даунис-и-Эстаделья, Дж. (2007). Оценка загрязнения приземного слоя атмосферы городских территорий с применением методов математической статистики. *География и природные ресурсы*, 4, 145-153.

Тютюнник, Ю.Г., Толосана-Дельгадо, Р., Павловски-Глан, В., Блюм, О.Б. (2006). Тяжелые металлы – индикаторы причин атмосферного загрязнения в Украинских Карпатах (геостатистический анализ). *Геоэкология*, 5, 433-439.

Aitchison, J. (2003). The Statistical Analysis of Compositional Data, Monographs on Statistics and Applied Probability. (London: Chapman & Hall Ltd, 1986). Reprinted with additional material. Caldwell, N.J.: The Blackburn Press.

Aitchison, J., Greenacre, M. (2002). Biplot of compositional data. *Applied Statistics*, 51, 375-392.

Aničić, M. et al. (2018). Environmental implication indices from elemental characterisations of collocated topsoil and moss samples. *Ecological Indicators*, 90, 529-539.

Angelovska, S., Stafilov, T., Sajin, R., Balabanova, B. (2016). Geogenic and anthropogenic moss responsiveness on lithological elements distribution around Pb-Zn ore deposit. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 70. doi - 10.1007/s00244-015-0251-7.

Balabanova, B., Stafilov, T., Sajin, R., Tanăsalia, C. (2016). Multivariate extraction of dominant geochemical markers for 69 elements deposition in Bregalnica river basin, Republic of Macedonia (moss biomonitoring). *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 22852-22870.

Cox, R., Lowe, D.R., Cullers, R.L. (1995). The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the Southwestern United States. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 2919-2940.

Culicov, O.A., Frontasyeva, M.V., Steinnes, E., Okina, O.S., Santa, Zs., Todoran, R. (2002). Atmospheric deposition of heavy metal around the lead and copper-zinc smelters in Baia Mare, Romania, studies by the moss biomonitoring technique, neutron activation analysis and flame atomic absorption spectrometry. Preprint E-14-2002-102. Dubna, 12.

Dimovska, B., Sajin, R., Stafilov, T., Bačeva, K., Tanăsalia, C. (2014). Determination of atmospheric pollution around the thermoelectric power plant using a moss biomonitoring. *Air Quality Atmosphere & Health*, 7, 541-557.

Harmens H., Norris D.A., Sharps, K., Mills, G., Alber, R., Aleksiyenak, Y., Blum, O., Cucu-Man, S.-M., Dam, M., De Temmerman, L., Ene, A., Fernandez, J.A., Martinez-Abaigar, J., Frontasyeva, M., Godzik, B., Jeran, Z., Lazo, P., Leblond, S., Liiv, S., Magnússon, SH., Mankovski, B., Pihl Karlsson, G., Piispanen, J., Poikolainen, J., Santamaria, J.M., Skudnik, M., Spiric, Z., Stafilov, T., Steinnes, E., Stihl, C., Suchara, I., Thöni, L., Todoran, R., Yurukova, L., Zechmeister, HG. (2015). Heavy metal and nitrogen concentrations in mosses are declining across Europe whilst some "hotspots" remain in 2010. *Environ Pollut.*, (200), 93-104.

Heavy Metals, Nitrogen and POPs in European Mosses. (2015). 2015 – Survey Monitoring Manual: International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops. Working Group on Effects Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.

Hofer, G., Wagreich, M., Neuhuber, S. (2013). Geochemistry of fine-grained sediments of the upper Cretaceous to Paleogene Gosau Group (Austria, Slovakia): implications for paleoenvironmental and provenance studies. *Geosc. Front.*, 4, 449-468.

Huisman, J.D., Klaver, T.G., Veldkamp, A., van Os, H.J.B. (2000). Geochemical compositional changes at the Pliocene-Pleistocene transition in fluviodeltaic deposits in the Tegelen-Reuver area (southeastern Netherlands). *Int. J. Earth Sci.*, 89, 154-169.

Frontasyeva, M.V., Sminrov, L.I., Steinnes, E., Lyapunov, S.M., Cherkintsev, V.D. (2012). A heavy metal atmospheric deposition study in the South Ural mountains. Preprint D14-2002-69. Dubna, 14.

Lazo, P., Steinnes, E., Qarric, F., Allajbeuc, S., Kanec, S., Stafilov, T., Frontasyeva, M.V., Harmens, H. (2018). Origin and spatial distribution of metals in moss samples in Albania: A hotspot of heavy metal contamination in Europe. *Chemosphere*, 190, 337-349.

Martín-Fernández, J.A., Daunis-i-Estadella J., Tyutyunnik Y.G. (2004). Esperiencia del estudio geoestadístico de composición química de suelos, de los indicadores de factores y de las condiciones geoquímicas. *Report de Recerca IMA 04-01-RR*. Girona: Universitat de Girona.

Stain, O.A., Licaci, A., Frontasyeva, M.V., Steinnes, E. (2001). New results from air pollution studies in Romania. Radionuclides and Heavy Metals in Environment. *NATO Science Series (Series IV: Earth and Environmental Series)*. Dordrecht: Springer, 5, 179-90.

References

- Aitchison, J. (2003). The Statistical Analysis of Compositional Data, Monographs on Statistics and Applied Probability. (London: Chapman & Hall Ltd, 1986). Reprinted with additional material. Caldwell, N.J.: The Blackburn Press.
- Aitchison, J., Greenacre, M. (2002). Biplot of compositional data. *Applied Statistics*, 51, 375-392.
- Aničić M. et al. (2018). Environmental implication indices from elemental characterisations of collocated topsoil and moss samples. *Ecological Indicators*, 90, 529-539.
- Angelovska, S., Stafilov, T., Sajin, R., Balabanova, B. (2016). Geogenic and anthropogenic moss responsiveness on lithological elements distribution

around Pb-Zn ore deposit. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. doi – 10.1007/s00244-015-0251-7.

Balabanova, B., Stafilov, T., Sajin, R., Tănăsela, C. (2016). Multivariate extraction of dominant geochemical markers for 69 elements deposition in Bregalnica river basin, Republic of Macedonia (moss biomonitoring). *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 22852–22870.

Cox, R., Lowe, D.R., Cullers, R.L. (1995). The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the Southwestern United States. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 2919–2940.

Culicov, O.A., Frontasyeva, M.V., Steinnes, E., Okina, O.S., Santa, Zs., Todoran, R. (2002). Atmospheric deposition of heavy metal around the lead and copper-zinc smelters in Baia Mare, Romania, studies by the moss biomonitoring technique, neutron activation analysis and flame atomic absorption spectrometry. Preprint E-14-2002-102. Dubna, 12.

Dimovska, B., Sajin R., Stafilov, T., Bačeva, K., Tănăsela, C. (2014). Determination of atmospheric pollution around the thermoelectric power plant using a moss biomonitoring. *Air Quality Atmosphere & Health*, 7, 541–557.

D'yachenko, V.V., Matasova, I.YU. (2015). Pollution and dynamics of trace elements in the soils of southern Russia. *Geokologiya*, 4, 324–332. [In Russian]

Harmens H, Norris D.A., Sharps, K., Mills, G., Alber, R., Aleksiyenak, Y., Blum, O., Cucu-Man, S.-M., Dam, M., De Temmerman, L., Ene, A., Fernandez, J.A., Martinez-Abadgar, J., Frontasyeva, M., Godzik, B., Jeran, Z., Lazo, P., Leblond, S., Liiv, S., Magnússon, SH., Mankovski, B., Pihl Karlsson, G., Piispanen, J., Poikolainen, J., Santamaria, JM., Skudnik, M., Spiric, Z., Stafilov, T., Steinnes, E., Stihl, C., Suchara, I., Thöni, L., Todoran, R., Yurukova, L., Zechmeister, HG. (2015). Heavy metal and nitrogen concentrations in mosses are declining across Europe whilst some "hotspots" remain in 2010. *Environ Pollut.*, (200), 93–104.

Heavy Metals, Nitrogen and POPs in European Mosses. (2015). 2015 – Survey Monitoring Manual: International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops. Working Group on Effects Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.

Hofer, G., Wagreich, M., Neuherber, S. (2013). Geochemistry of fine-grained sediments of the upper Cretaceous to Paleogene Gosau Group (Austria, Slovakia): implications for paleoenvironmental and provenance studies. *Geosc. Front.*, 4, 449–468.

Huisman, J.D., Klaver, T.G., Veldkamp, A., van Os, H.J.B. (2000). Geochemical compositional changes at the Pliocene-Pleistocene transition in fluvio-deltaic deposits in the Tegelen-Reuver area (southeastern Netherlands). *Int. J. Earth Sci.*, 89, 154–169.

Frontasyeva, M.V., Sminrov, L.I., Steinnes, E., Lyapunov, S.M., Cherkintsev, V.D. (2012). A heavy metal atmospheric deposition study in the South Ural mountains. Preprint D14-2002-69. Dubna, 14.

Lazo, P., Steinnes, E., Qarric, F., Allajbeuc, S., Kanec, S., Stafilov, T., Frontasyeva, M.V., Harmens, H. (2018). Origin and spatial distribution of metals in moss samples in Albania: A hotspot of heavy metal contamination in Europe. *Chemosphere*, 190, 337–349.

Kist, A.A. (1987). Phenomenology of biogeochemistry and bioinorganic chemistry. Tashkent: Fan. [In Russian]

Martín-Fernández, J.A., Daunis-i-Estadella J., Tyutyunnik Y.G. (2004). Experiencia del estudio geoestadístico de composición química de suelos, de los indicadores de factores y de las condiciones geoquímicas. *Report de Recerca IMA 04-01-RR*. Girona: Universitat de Girona.

Perel'man, A.I. (1989). Geochemistry. Moskva: Vyssh. shkola. [In Russian]

Sayet, YU.Ye., Revich, B.A., Yanin, Ye.P., Smirnova, R.S., Basharkovich I.L., Onishchenko, T.L., Pavlova, L.N., Trefilova, N.YA., Achkasov, A.I., Sarkisyan, S.SH. (1990). Environmental Geochemistry. M.: Nedra. [In Russian]

Stain, O.A., Licaci, A., Frontasyeva, M.V., Steinnes, E. (2001). New results from air pollution studies in Romania. Radionuclides and Heavy Metals in Environment. NATO Science Series (Series IV: Earth and Environmental Series). Dordrecht: Springer, 5, 179–90.

Tyutyunnik, YU.G., Blyum, O.B., Shabaturo, A.V. (2005). Atmospheric pollution by arsenic and heavy metals of the Ukrainian Carpathians and foothill territories. *Geografiya i prirodnyye resursy*, 1, 138–146. [In Russian]

Tyutyunnik, YU.G., Daunis-i-Estadella, J., Blyum, O.B., Martin-Fernandes, J.-A. (2012). Investigation of genetically diverse pollution fields in a protected area: a geostatistical analysis of bioindicator data. *Geokologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*, 4, 336–343. [In Russian]

Tyutyunnik, YU.H., Horlyts'kyi, B.A. (2000). Man-caused contamination of Ukrainian soils in Ukraine (phenomenological analysis). *Dopovidi NAN Ukrayiny*, 6, 208–211. [In Ukrainian]

Tyutyunnik, YU.G., Martin-Fernandes, J.-A., Daunis-i-Estadella, J. (2007). Assessment of pollution of the surface layer of the atmosphere of urban areas using the methods of mathematical statistics. *Geografiya i prirodnyye resursy*, 4, 145–153. [In Russian]

Tyutyunnik, YU.G., Tolosana-Delgado, R., Pavlovski-Glan, V., Blyum, O.B. (2006). Heavy metals – indicators of the causes of atmospheric pollution in the Ukrainian Carpathians (geostatistical analysis). *Geokologiya*, 5, 433–439. [In Russian]

Voronchikhina, Ye.A., Shchukin, A.V., Shchukina, N.I. (2014). To assess the geochemical condition of the urban ecosystem Perm in connection with the use of anti-icing agents. *Geograficheskii vestnik*, 2 (29), 79–94. [In Russian]

Надійшла до редколегії 10.01.19

Yu. Tyutyunnik¹, Dr.Sci. (Geograf.), Prof., Leading Researcher,

E-mail: yulian.tyutyunnik@gmail.com

O. Shabaturo², Cand.Sci. (Geol.), Assist.Prof., E-mail: sand@univ.kiev.ua

O. Blum², Cand.Sci. (Biol.), Senior Researcher,

Head of laboratory of bioindication and chemosystematics, E-mail: oleg_blum@ukr.net

J. Daunis-i-Estadella³, Dr. Sci., Prof.,

E-mail: pepus.daunis@udg.edu

¹M.M. Gryshko National Botanical Garden,

1Tymyryazivska Str., Kiev, 101014, Ukraine

²Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

³University of Girona, Department of informatics, applied mathematics and mathstatistics

Campus Montelivi, E-17071a, Girona, Spain

GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF THE ATMOGEOCHEMICAL FIELD IN THE PRIOR LAYER OF THE ATMOSPHERE OF NORTHERN UKRAINE (BRYOGEOCHEMICAL INDICATION DATA)

The bryogeochemical indication of atmospheric pollution in the central part of northern Ukraine is based on the use of moss P.schreberi species. The sampling system provided an empirical reference the moss sample data to a particular physical and geographical zone, taking into account the distance from the source of atmospheric pollution. This approach allowed developing a gradation of natural and man-caused conditions for the accumulation of chemical elements in moss samples. The data on the content of chemical elements in the moss-indicator were analysed and checked for comprehensive geostatistics (factor analysis methods, mapping of spatial correlations of significant factors, centered triangular charts and composite biplot). Results made possible to form a mutual hyperspace of geochemical factors and signs for its subsequent interpretation. The leading factor of the bryogeochemical indication is air pollution by a large dust of natural terrigenous and man-caused origin. Second factor connected with a finely dispersed man-caused-condensation aerosols impact; the third factor is identified by the behavior of titanium and vanadium as the effect of heat and power (TPP, boiler room) on atmospheric emissions; the fourth factor is an impact of biogenesis, which is determined by active role of trace elements – sulfur and phosphorus; the fifth factor is connected with biogenic migration of trace elements – boron, copper and cobalt. The sixth factor is weak, and probably due to the behavior of manganese and chromium, associated with Eh-pH parameters of atmospheric precipitation and hydrometeors.

The regional geostatistical analysis of the bryogeochemical data shows that the factor of the terrigenous dust uplift within the studied territory exhibits a spatial variability due to differences in the granulometric composition of the Quaternary deposits, the degree of soil retention and plowing, and differences in surface wind speeds. Spatial heterogeneity is obvious due to a man-caused factor showing a distribution of the dispersion of the Fe-S-Pb and V-Cd-Pb clusters on bipolar charts. Instead, such a geochemical factor as "biogenesis" shows a low spatial variability.

The bryogeochemical indication is a good method for the assessment and monitoring of atmospheric pollution of large and varied natural and man-caused areas as well as the proposed geostatistical mapping of the atmochemic field showing that it is efficient to divide the territories by type of pollution.

Keywords: bryogeochemical indication, biplot, factor mapping, geostatistical analysis, atmochemic field, Northern Ukraine.

Ю. Тютюнник¹, д-р геогр. наук, проф., вед. науч. сотр.,

E-mail: yulian.tyutyunnik@gmail.com

А. Шабатура², канд. геол. наук, ассист., E-mail: sand@univ.kiev.ua

О. Блюм¹, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.,

зав. лаб. биоиндикации и хемосистематики, E-mail: oleg_blum@ukr.net

Х. Даунис-и-Естаделья³, д-р наук, проф., E-mail: pepus.daunis@udg.edu

¹Национальный ботанический сад им. Н.Н. Гришко,

ул. Тимирязевская, 1, г. Киев, 101014, Украина

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

³Университет Жироны, Отделение информатики, прикладной математики и математической статистики,

Кампус Монтеливи E-17071a, г. Жирона, Испания

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АТМОГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОЙ УКРАИНЫ (ПО ДАННЫМ БРИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ)

Бриогеохимическая индикация загрязнения атмосферы центральной части Северной Украины осуществляется на основе использования мха вида *P.schreberi*. Система отбора проб мха предусматривала эмпирическую привязку к конкретной физико-географической зоне, учет удаленности от источника атмосферного загрязнения, что позволило разработать градацию природных и техногенных условий накопления химических элементов в образцах мха. Данные по содержанию химических элементов во мхе-индикаторе анализировались с помощью методов факторного анализа, картографирования пространственных корреляций значимых факторов, центрированных треугольных диаграмм и композиционного биплота, что позволило сформировать единое гиперпространство геохимических факторов и причин и выполнить их интерпретацию. Ведущим фактором бриогеохимической индикации является загрязнение воздуха крупнодисперсной пылью природного терригенного и техногенного происхождения; несколько меньший вес имеет фактор влияния мелкодисперсных техногенно-конденсационных аэрозолей; третий фактор идентифицируется по поведению титана и ванадия и определяется как влияние теплоэнергетических (ТЭС, котельные) атмосферных выбросов; четвертый – фактор биогенеза, который проявляется активной ролью микроэлементов – серы и фосфора; пятый – биогенный фактор связан с миграцией бора, меди и кобальта. Слабо проявленный шестой фактор вероятно связан с поведением марганца и хрома, описывающих Eh-pH параметры атмосферных осадков и гидрометеоров.

Региональный геостатистический анализ бриогеохимических данных свидетельствует, что фактор терригенного пылеподъема в пределах исследованной территории отображает пространственную пестроту вследствие различия в гранулометрическом составе четвертичных отложений, степени задернованности и распаханности почв, различиями в приземных скоростях ветров. Пространственную неоднородность имеет фактор техногенеза, о чем свидетельствует разбросанность точек кластеров Fe-S-Pb и V-Sd-Pb на диаграммах биплота. Вместе с тем, такой геохимический фактор, как "биогенез" проявляет невысокую пространственную вариабельность.

Бриогеохимическая индикация является хорошим методом оценки и мониторинга атмосферного загрязнения больших и разнообразных по природным и техногенным условиям территорий, а предложенный геостатистический комплекс картографирования атмогеохимического поля показал свою эффективность в разделении территорий по типу загрязнения.

Ключевые слова: бриогеохимическая индикация, биплот, картографирование факторов, геостатистический анализ, атмогеохимическое поле, северная Украина.

Наукове видання



ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГЕОЛОГІЯ

Випуск 3(86)

Комп'ютерна обробка статей – О. О. Козіонова

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Responsibility for the opinions given, statements made, accuracy of the quotations, economical and statistical data, terminology, proper names and other information rests with the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 10,5. Наклад 300. Зам. № 219-9513.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Глз.
Підписано до друку 30.09.19

Видавець і виготовлювач
ВПЦ "Київський університет"
Б-р Тараса Шевченка 14, м. Київ, 01030
☎ (38044) 239 32 22; (38044) 239 31 72; тел./факс (38044) 239 31 28
e-mail: vpc_div.chief@univ.net.ua; redaktor@univ.net.ua
http: vpc.univ.kiev.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1103 від 31.10.02