

УДК 504+550+551+552+624

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

Для викладачів, наукових співробітників, аспірантів і студентів.

Видання індексується в наукометричних базах даних Web of Science, Academic Resource Index Research Bib та Google Scholar. Категорія А Міністерства освіти і науки України.

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

For scientists, professors, graduate and postgraduate students.

Journal is indexed in Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib and Google Scholar. Rank A of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Издание индексируется в наукометрических базах данных Web of Science, Academic Resource Index Research Bib и Google Scholar. Категория А Министерства образования и науки Украины.

Відповідальний за випуск О.І. Меньшов

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР**РЕДАКЦІЙНА
КОЛЕГІЯ**

В.А. Михайлов, д-р геол. наук, проф.

І.М. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб. (заст. головн. ред.); О.І. Меньшов, д-р геол. наук (відп. секр.); В.Г. Бахмутов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.; С.А. Вижва, д-р геол. наук, проф.; З.О. Вижва, д-р фіз.-мат. наук, проф.; В.М. Гулій, д-р геол. наук, проф.; О.В. Дубина, д-р геол. наук, В.М. Загнітко, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; В.І. Зацерковний, д-р техн. наук, проф.; О.М. Іванік, д-р геол. наук, проф.; О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.; М.М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.; І.М. Корчагін, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; О.Є. Кошляков, д-р геол. наук, проф.; В.Г. Лозицький, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.; Б.П. Маслов, д-р фіз.-мат. наук, проф.; О.В. Митрохин, д-р геол. наук, проф.; 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; А. Ель Албані, Університет Пуатьє, Франція; К. Зенг, Китайський геологічний університет, Китай; О. Івахненко, Казахстансько-Британський технічний університет, Казахстан; А. Коронеос, Університет Арістотеля в Салоніках, Греція; 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"
16 вересня 2020 року (протокол № 2)

Атестовано

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

Зареєстровано

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

**Засновник
та видавець**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет"
Свідчення 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. Rank A of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

Наведено результати геологічних, стратиграфічних, палеонтологічних, гідрогеологічних, геофізичних та 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. Категорія А Міністерства освіти і науки України.

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

Для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов.

Издание индексируется в наукометрических базах данных Web of Science, Academic Resource Index ResearchBib и Google Scholar. Категория А Министерства образования и науки Украины.

Chief publication manager O. Menshov

EDITOR-IN-CHIEF

EDITORIAL BOARD

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

Ukrainian Members:

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher (Deputy Editor-in-Chief); O. Menshov, Dr. Sci. (Geol.), (Executive Secretary); V. Bakhmutov, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher; S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Z. Vyzhva, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; V. Guliy, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Dubyna, Dr. Sci. (Geol.); V. Zagnitko, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; V. Zacerkovniy, Dr. Sci. (Tech.), Prof.; O. Ivanik, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; O. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; M. Korzhnev, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.; I. Korchagin, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; Prof.; V. Lozitsky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher; B. Maslov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.; O. Mytrokhin, Dr. Sci. (Geol.), Prof.; 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; A. El Albani, Université de Poitiers, France; O. Ivakhnenko, Kazakh British Technical University, Kazakhstan; A. Koroneos, Aristotle University of Thessaloniki, Greece; Q. Liu, China University of Geosciences, China; M. Olivia, University of Lisbon, Portugal; P. Pereira, Mykolas Romeris University, Lithuania; V. Portnov, Karaganda State Technical University, Kazakhstan; V. Schmidt, Münster University, Germany; S. Spassov, Geophysical Center of Dourbes, Belgium; A. Vesnaver, Italian National Institute of Oceanography and Applied Geophysics, Italy; Q. Zeng, China University of Geosciences, China

Address

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

Approved by the

Academic Council of the Institute of Geology
September 16, 2020 (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

Бортник С., Погорільчук Н., Ковтонюк О.

Про вік і походження крем'яної сировини інвентарю
геоархеологічної пам'ятки Межиріч (Канівське Придніпров'я) 6

Шевчук В., Тустановська Л., Кравченко Д., Гадяцька К.

Реконструкція новітньої геодинаміки Середнього Придніпров'я та її прояви в рельєфі 12

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

Митрохин О., Бахмутов В.

Геологічна будова та петрографія островів Ведель (архіпелаг Вільгельма, Західна Антарктика) 18

Бехназ Рафій Могадам, Халил Резай, Алі Солгі, Пантея Гхіачі, Мохсен АлеАлі

Диференціація та геохімія осадових відкладів лагун (Бандар-Анзалі)
з урахуванням материнських гірських порід і тектонічної обстановки 28

ГЕОФІЗИКА

Вижва С., Онищук В., Онищук І., Рева М., Шабатура О.

Геофізичні дослідження зсувних територій правого берега р. Дніпро (Лісостепова зона) 36

Ахмедов Т.

Форма сейсмічного горизонту на часовому розрізі й годографа загальної точки вибуху відбитої хвилі
в перехідній зоні для випадку коли середовище, яке покриває цільовий горизонт, ускладнено порушенням 44

Хом'як М., Малицький Д., Асташкіна О., Махніцький М., Кравець С., Микита А., Грицай О.

Регресійний аналіз сейсмічних і геофізичних параметрів та його застосування
для дослідження сейсмічності Закарпатського регіону 49

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Горошкова Л., Хлобистов Є., Волков В.

Циклічність вуглевидобування в Україні та потенціал сталого розвитку галузі 54

Кучинська О., Нестеровський В., Старенький О., Циганюк Ю.

Незаконне видобування бурштину та заходи боротьби з ним 62

Деревська К., Александров О., Береговенко В., Ковальчук М., Руденко К., Сільченко Г., Спиця Р.

Перспективи відкладів надзаплавних терас Дністра на золоту мінералізацію 71

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Рокочинський А., Турченко В., Волк П., Приходько Н., Фроленкова Н., Шевченко О.

Формування гідрогеолого-меліоративної обстановки на рисових зрошувальних системах Придніпров'я
та шляхи підвищення їхньої економічної ефективності з урахуванням погодно-кліматичних ризиків 78

Тонха О., Бикова О., Піковська О., Федосій І., Меньшов О., Шепель А.

Вміст кремнію, фізичні та хімічні властивості ґрунтів Хмельницької області України 85

Левицька В., Хоружий П.

Взаємодія дренажних свердловин у протифільтраційних завісах 91

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

Стародуб Ю., Гаврись А., Козіонова О.

Моделювання впливу еколого-геофізичного стану ґрунтів на інженерні мостобудівні об'єкти 97

CONTENTS

GENERAL AND HISTORICAL GEOLOGY

Bortnyk S., Pohorilchuk N., Kovtoniuk O. Age and origin of flint tools of the Mezhyrichchia geoarcheological monument (Kaniv Dnieper Lowland).....	6
Shevchuk V., Tustanovska L., Kravchenko D., Hadiatska K. Newest geodynamics reconstruction of the Middle Dnieper region and its manifestations in the relief	12

MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY

Mytrokhyn O., Bakhmutov V. Geology and petrography of the Vedel islands (Wilhelm archipelago, West Antarctica).....	18
Behnaz Rafiei Moghadam, Khalil Rezaei, Ali Solgi, Pantea Ghiahchi, Mohsen AleAli Gradation and geochemistry of the Fenced Lagoon sediments (Bandar Anzali) with regard towards source rock and tectonic location	28

GEOPHYSICS

Vyzhva S., Onyshchuk V., Onyshchuk I., Reva M., Shabatura O. Geophysical researches of the landslide territories of the right bank of the Dnieper River (forest-steppe zone)	36
Ahmadv T. Form of seismic horizon on time section and reflected wave Common Shot Point travel time curve in transition zone for the case of complication of target horizon cover by fault	44
Homyak M., Malyskyy D., Astashkina O., Makhnitskyy M., Kravets S., Mykyta A., Grycai O. Regression analysis of the seismic and geophysical parameters and its application for seismicity study of the Transcarpathian region	49

MINERAL RESOURCES

Horoshkova L., Khlobystov Y., Volkov V. Cyclical nature of the coal mining industry in Ukraine and its sustainable development capacity.....	54
Kuchynska O., Nesterovskiy V., Starenkyi O., Tsyganyuk Y. Illegal and uncontrolled amber's extraction and measures to combat it.....	62
Derevska K., Aleksandrov O., Berehovenko V., Kovalchuk M., Rudenko K., Silchenko G., Spysia R. Prospects of the Dniester River floodplain terraces strata for gold mineralization	71

HYDROGEOLOGY, ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL GEOLOGY

Rokochinskiy A., Turchenyuk V., Volk P., Prikhodko N., Frolenkova N., Shevchenko O. Formation of hydrogeological-reclamation situation on the rice irrigation systems of the Danube river and ways of increasing their economic efficiency taking into account weather and climate risks	78
Tonkha O., Bukova O., Pikovska O., Fedosiy I., Menshov O., Shepel A. Silicon content, physical and chemical properties of soils of the Khmelnytsky region of Ukraine	85
Levytska V., Khoruzhiy P. Influence of drainage wells in ant infiltration drainage system	91

GEOLOGICAL INFORMATICS

Starodub Yu., Havrys A., Kozionova O. Modeling of the effects of the environmental-geophysical state of soils on engineering building objects	97
---	----

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Бортник С., Погорильчук Н., Ковтонюк О. О возрасте и происхождении кремниевых инвентаря геологического памятника Межирич (Каневское Приднпровье).....	6
Шевчук В., Тустановская Л., Кравченко Д., Гадяцкая К. Реконструкция новейшей геодинамики Среднего Приднпровья и ее проявления в рельефе.....	12

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Митрохин А., Бахмутов В. Геологическое строение и петрография островов Ведель (архипелаг Вильгельма, Западная Антарктика).....	18
Бехназ Рафий Могадам, Халил Резай, Али Солги, Пантея Гхиячи, Мохсен АлеАли Дифференциация и геохимия осадочных отложений лагун (Бандар-Анзали) с учетом материнских горных пород и тектонической обстановки.....	28

ГЕОФИЗИКА

Выжва С., Онищук В., Онищук И., Рева Н., Шабатура А. Геофизические исследования оползневых территорий правобережья р. Днепр (лесостепная зона)	36
Ахмедов Т. Форма сейсмического горизонта на временном разрезе и годографа общей точки взрыва отраженной волны в переходной зоне для случая, когда покрывающая целевой горизонт среда осложнена нарушением	44
Хомяк Н., Малицкий Д., Асташкина А., Махницкий Н., Кравец С., Мыкыта А., Грицай О. Регрессионный анализ сейсмических и геофизических параметров и его применение для исследования сейсмичности Закарпатского региона.....	49

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Горошкова Л., Хлобыстов Е., Волков В. Цикличность угледобычи в Украине и потенциал устойчивого развития отрасли.....	54
Кучинская О., Нестеровский В., Старенький А., Циганюк Ю. Незаконная добыча янтаря и меры борьбы с ней.....	62
Деревская Е., Александров А., Береговенко В., Ковальчук М., Руденко К., Сильченко Г., Спица Р. Перспективы отложений надпойменных террас Днестра на золотую минерализацию	71

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Рокочинский А., Турченко В., Волк П., Приходько Н., Фроленкова Н., Шевченко А. Формирование гидрогеолого-мелиоративной обстановки на рисовых оросительных системах Приднпровья и пути повышения их экономической эффективности с учетом погодно-климатических рисков	78
Тонха О., Быкова О., Пиковская Е., Федосий И., Меньшов А., Шепель А. Содержание кремния и физико-химические свойства почвы Хмельницкой области Украины.....	85
Левицкая В., Хоружий П. Взаимодействие дренажных скважин в противодиффузионных завесах	91

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Стародуб Ю., Гавриш А., Козинова О. Моделирование влияния екогеофизического состояния грунтов на инженерные мостостроительные сооружения.....	97
---	----

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 552.553;552.144;903-03

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.01>

С. Бортник^{1,2}, д-р геогр. наук, проф.,

E-mail: bs_7@ukr.net;

Н. Погорільчук¹, канд. геогр. наук, доц.,

E-mail: georada@ukr.net;

О. Ковтонюк¹, канд. геогр. наук, доц.,

E-mail: kovtonyuko@i.ua;

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

Географічний факультет, пр. Акад. Глушкова, 2, м. Київ, МСП-680, Україна;

²Університет Яна Кохановського, вул. Свентокшиська, 15, м. Кельце, Польща

ПРО ВІК І ПОХОДЖЕННЯ КРЕМ'ЯНОЇ СИРОВИНИ ІНВЕНТАРЮ ГЕОАРХЕОЛОГІЧНОЇ ПАМ'ЯТКИ МЕЖИРІЧ (КАНІВСЬКЕ ПРИДНІПРОВ'Я)

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

Присвячено уточненню стратиграфічного положення та походження крем'яних конкрецій, що служили основною сировиною для виготовлення знарядь праці мешканців Межирицької пізньопалеолітичної стоянки. В археологічних публікаціях зазначається, що ці конкреції приурочені до "шару Виржиківського" (альбський ярус нижньої крейди), який сформувався в континентальних умовах і складений піщано-глинистими (зокрема каоліновими) відкладами. Проведений аналіз необхідних умов і можливих механізмів формування крем'яних конкрецій свідчить про помилковість таких уявлень.

Імовірно, джерелом крем'яної сировини були морські відклади сеноману (верхня крейда) або, за сучасним стратиграфічним поділом мезозой-кайнозойської товщі, відклади буріємської світи (верхній альб – нижній сеноман). Палеогеографічна обстановка, седиментаційні умови та літологічний склад "шару Виржиківського" не могли забезпечити формування в ньому включень крем'яних конкрецій. Останні є діагенетичними за походженням і могли утворитися тільки в карбонатних породах, що не містять глинистих мінералів.

Район Канівських дислокацій був оптимальним регіоном щодо добування кременю. Цьому сприяли: 1) тектонічна дислокаваність осадової товщі, яка вивела кременевмісні шари в товщу молодших покривних відкладів; 2) ерозійна діяльність тимчасових водотоків, яка сприяла виходу цих шарів на денну поверхню. Але найзручніше мисливцям на мамонтів було збирати кремені не у відслоненнях корінних порід, а в пухких пролювіальних відкладах конусів виносу ярів, які виходили на заплави Дніпра та Росі. Можливість видобування крем'яної сировини безпосередньо поблизу Межирицької стоянки, в ярах і балках межириччя Росі та Росави, де в геологічному розрізі присутні крейдові відклади, видається сумнівною, адже вони залягають тут нижче рівня місцевого базису ерозії й не відслонюються в ярах. Тому у формуванні сировинної забезпеченості пізньопалеолітичної стоянки Межирич провідну роль відіграв саме район прилеглої до Канівських гір алювіально-пролювіальної рівнини.

Ключові слова: геоархеологія, Межирич, крем'яні конкреції, "шар Виржиківського".

Вступ. Важливим аспектом археологічних досліджень і реконструкції природних умов проживання людини в доісторичний та історичний час є розуміння закономірностей розташування давніх стоянок і поселень, зокрема впливу природних факторів на їхню організацію та функціонування. Головних пріоритетів, якими керувалася давня людина за часів палеоліту, обираючи ділянку для свого довго- або короткотривалого поселення, було декілька. По-перше, важливими були ізоляваність і захищеність від різних небезпек (як від несприятливих погодних явищ та екзогенних процесів, так і від нападу хижаків і чужинців). По-друге, зручне і вигідне місце поселення повинно було забезпечувати добру оглядовість навколишньої місцевості, що дозволяло контролювати шляхи міграції тварин, на яких полювали мисливці. Третім пріоритетом була наявність кам'яної сировини для виготовлення зброї та знарядь праці. Кількість, якість і доступність сировини не меншою мірою, аніж безпека і зручність, впливали на обрання місця поселення. Так, за Л. Залізником (Залізник, 2005), нерівномірність розташування палеолітичних пам'яток на території України пояснюється саме прив'язкою до первинних родовищ крем'яної сировини, придатної для виготовлення знарядь. Ці родовища приурочені до таких регіонів, як Волинь, Житомирщина, Новгород-Сіверщина, басейн Верхнього Дністра, район Канева на Дніпрі, верхів'я річки Вись, долина Сіверського Донця та Донецький кряж, Передгірський Крим.

Серед знарядь праці Межирицької пам'ятки, як власне й інших поселень кам'яної доби цього регіону, явно домінує крем'яний інвентар. І хоч присутніми є вироби і з інших порід, зокрема граніту, кварциту, гнейсу, пісковика, саме кремень був тут основною сировиною для виготовлення нуклеусів, скребків, різців, мікролітів, пластин тощо (Гладких, 2001).

Звідки саме добували кремень межирицькі мисливці, автохтонними чи алохтонними були джерела його проявів – відповіді на ці запитання допоможуть з'ясувати повну картину функціонування цього поселення. Не менш важливим науковим аспектом, який потребує уточнення, є стратиграфічне положення крем'яної сировини, з якої виготовлявся інвентар палеолітичних мисливців.

Матеріали та методи. В археологічних матеріалах з дослідження Межирицької геоархеологічної пам'ятки та публікаціях щодо геологічної будови району Канівського Придніпров'я зустрічаються різні, іноді суперечливі, варіанти стратиграфічних прив'язок проявів крем'яних конкрецій. Тому на основі аналізу літературних джерел і власних польових досліджень маємо на меті уточнити цю інформацію, ураховуючи нові геологічні дані та теоретичні аспекти умов і можливих механізмів утворення крем'яних конкрецій.

Результати та обговорення. Практично всі сходяться на думці, що кремені Межирицького та інших палеолітичних поселень мають місцеве походження. Так, І. Підоплічко (Підоплічко, 1976) указує, що "його (крем'яні) мешканці межирицького пізньопалеолітичного поселення видобували на місці. Конкреції, переважно у вигляді обкатаних, округлих, овальних та іншої форми жовен розміром до 20 см у поперечнику зустрічаються в районі Канівських дислокацій, у тому числі в околицях Межирича. Головний шар крем'яних конкрецій в цьому районі залягає на контакті юрських і крейдових відкладів. У перевідкладеному вигляді вони містяться практично в усіх відкладах кайнозойської групи, включаючи антропогенові". Автор зазначає, що "незначна частка кременю, який використовували межирицькі мешканці, могла походити з корінних палеогенових і неогенових

відкладів і з продуктів їхнього перемивання з найближчих околиць Межиріччя, проте він був недоброякісний і вживався в невеликій кількості. Таким, чином, мисливці надавали перевагу саме мезозойському кременю як більш якісному" (Підоплічка, 1976).

На геологічному розрізі ділянки розташування Межиріцького поселення, (у монографіях І. Підоплічка) показано приуроченість кременів до покрівлі палеогенових відкладів, а їхні знахідки в лесоподібних суглинках вважаються результатом перевідкладення (рис. 1). При цьому сам автор був переконаний, що прилегло до Ме-

жиріцького мису плато також входить до Канівських дислокацій. Насправді, цей район розташований поза межами дислокацій, а крейдові відклади, які мають тут фрагментарне поширення, залягають на абсолютних відмітках у діапазоні 35–40 м за сумарної потужності перші одиниці метрів (Державна геологічна карта України, 2012). Отже, потенційні кременевмісні відклади на цій ділянці залягають значно нижче місцевого базису ерозії, що розташований на рівні 80 м, і не могли відслонюватися в ярах. Тому ідея І. Підоплічка про те, що мезозойський кремій міг добуватися безпосередньо в околицях Межиріччя, не знаходить свого підтвердження.

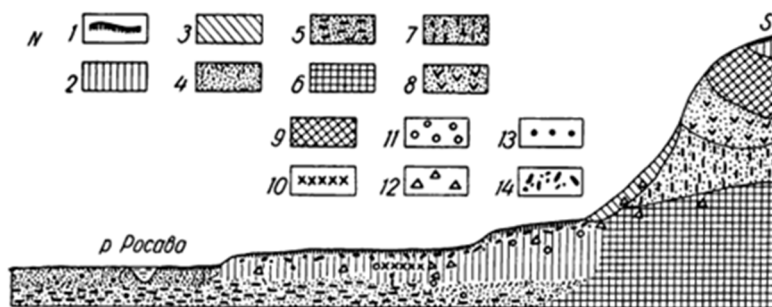


Рис. 1. Схематичний геологічний розріз розташування Межиріцької пізньопалеолітичної стоянки (Підоплічка, 1969):

- 1 – сучасний ґрунт; 2 – лес і лесоподібні суглинки; 3 – сучасний делювій; 4 – сучасний алювій; 5 – давній шаруватий алювій; 6 – палеогенові мергелі, глини, піщано-глинисті відклади; 7 – харківський пісок; 8 – полтавський пісок; 9 – глини типу зелених і червоно-бурих; 10 – культурний шар; 11 – дрібні гранітні валуни; 12 – окремі гальки кременів і крем'яний щебінь; 13 – черепашки прісноводних молюсків; 14 – нороточини ховрахів і сліпаків

Різна стратиграфічна прив'язка проявів чорних кременів у районі Канівських дислокацій зафіксована і в експозиції місцевих порід у музеї Канівського природного заповідника (рис. 2).

У публікаціях з археологічної тематики ці кремені називаються "Дніпровсько-Канівськими" (Петрунь, 2004) або "канівськими" (Пічкур, Шидловський, 2003; Рижов, 2004). Зауважимо, що назва дана за місцезнаходженням первинних родовищ крем'яних конкрецій, а не за приуроченістю їх до канівської світи середнього еоцену, яка тут має значне поширення. Саме "канівський кремій" із крейдових відкладів поширювався вздовж русла Дніпра далеко на південь і служив сировиною не тільки для межиріцької, але й для інших палеолітичних і мезолітичних стоянок Середнього Придніпров'я (Залізняка, 2005). Сучасні відслонення кременів у районі Канівських дислокацій пов'язані з двома ділянками (Рижов, 2004). Перша,

так звана Канівсько-Пекарська коса – вузька смуга алювіально-пролювіальної рівнини, розташована між річищем Дніпра і Канівськими горами. Із 70-х рр. минулого століття вона зазнала значних антропогенних трансформацій у зв'язку із спорудженням Канівської ГЕС і будівництвом дороги. На цій ділянці пригирлові частини ярів каналізовані, а поверхні конусів виносу вирівняні. Проте жовна кременів без особливих зусиль можна знайти на сучасному пляжі Дніпра в алювіально-пролювіальних відкладах на відрізку між Тарасовою горою та с. Пекарі (рис. 3). Друга ділянка – Бучацька берегова зона, що підмивається Канівським водосховищем. Кремені Бучацької ділянки дещо відрізняються своїми зовнішніми характеристиками та фізичними властивостями і, як зазначав І. Підоплічка (Підоплічка, 1976), є значно гіршими за якістю.



а



б

Рис. 2. Жовна кременів з різною стратиграфічною прив'язкою в експозиції музею Канівського природного заповідника (фото Н. Погорільчук):

- а – базальний горизонт сеноманського ярусу (верхня крейда); б – контакт сеноманського ярусу та відкладів палеогену



Рис. 3. Жовна кременю з алювіально-пролювіальних відкладів у районі Канівського заповідника (гирла ярів Біляшівського I і II, Мар'їного) (фото Н. Погорільчук)

За даними (Пічкур, Шидловський, 2003; Рижов, 2004; Нужний, Шидловський, 2009), які у свою чергу посиляються на свідчення геологів, "у районі Канівсько-Пекарської коси (яри Меланчин потік, Комашиний, Сухий потік, Мар'їн, Холодний, Біляшівського I та II тощо) прошарки чорного кременя приурочені до "шару Виржиківського", що належить до альбського ярусу нижнього відділу крейдової системи мезозойської групи (Палієнко та ін., 1971, с. 13)". Для підтвердження висновків про місцеве походження первинних покладів крем'яної сировини ними в 2003 р. у Мар'їному яру був закладений геологічний розріз, який розкрив "гальковий шар потужністю 5–15 см, що складався з невеликих за розмірами конкрецій і гальки кременю та кварцу, які залягали в ортзандах жовтого і жовто-бурого кольору" (Пічкур, Шидловський, 2003). Стратиграфічно він залягав між темно-сірими келовейськими глинами юрської системи та зеленувато-сірими сеноманськими пісковиками. Чорні зовні конкреції мали жовтуватий колір ближче до поверхні, яка мала характер "мити" або "пористої" та не була вкрита вапняною кіркою. Саме ці візуально-морфологічні риси дозволили археологам ідентифікувати кремені, що оброблялися на Межирицькій стоянці як місцеві.

До речі, широко вживані терміни "крем'яна галька", "галька чорного кременя" є невдалими і неправильними щодо механізмів формування цих конкреційних утворень діагенетичного походження. Галькою називають обкатаний уламок розмірами від 10 до 100 мм, що утворився в результаті фізичного вивітрювання та подальшого його транспортування різними геологічними агентами. Конкреція – це результат стягнення розсіяної мінеральної речовини до центрів кристалізації, у результаті якого утворюється мінеральний агрегат округлої або неправильної форми, що різко відрізняється від вмісних порід за складом, структурою та властивостями (Вовк, 2012). Тобто гальки нічого спільного з крем'яними стягненнями, крім чисто візуальних ознак, не мають.

Оскільки автори цієї статті багато років поспіль керують навчальною геологічною та геоморфологічною практикою в Канівському природному заповіднику для студентів-географів, а раніше ще й під керівництвом доцента Е. Палієнка – одного із провідних дослідників рельєфу та геологічної будови Канівського Придніпров'я, і жовна кременів розглядають у складі відкладів сеноманського ярусу верхньої крейди, то така розбіжність у стратиграфічній прив'язці викликала необхідність детальнішого вивчення цього питання.

По-перше, за Е. Палієнком (Палієнко та ін., 1971), в описі речовинного складу "шару Виржиківського" – кон-

тинентальних косошаруватих піщано-гравійних відкладів із 30–40 % вмістом каоліну – згадки про кремені немає. Відклади цього шару трактуються як алювій, що містить перемиту та перевідкладену кору вивітрювання Українського щита. Натомість кремені й фосфоритові стягнення властиві для відкладів верхньосеноманського під'ярусу, представлених світло-сірим крейдоподібним глауконітовим мергелем, що відкладався у теплому морі на глибині до 100 м (с. 39). Цілком імовірно, що через фаціальну мінливість морських умов і (або) в результаті тектонічних деформацій в окремих місцях верхньосеноманські відклади залягають безпосередньо на келовейських глинах (тобто нижньосеноманський під'ярус відсутній), що і дало підстави визначити джерело крем'яних конкрецій на контакті юрських і крейдових відкладів.

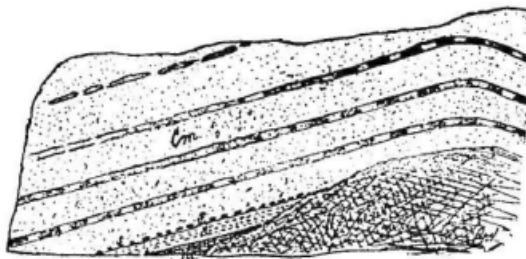
По-друге, сам Р. Виржиківський ніколи не відносив прошарки "крем'яної гальки" до верстви, яку було інтерпретовано як відклади континентального походження альбського ярусу нижньої крейди і згодом названо його іменем. Він писав, що "прошарок з крупними крем'яними гальками поширений в самому низу сеноманських пісків" (Виржиковський, 1916, с. 4). Та й на його авторських зарисовках відслонень жовна кременів приурочені до сеноману, а новий, неописаний на той час піщано-каоїновий шар, підписаний як невідомий (X) (рис. 4).

Стратиграфічна позиція крем'яних конкрецій за останні 50 років зазнала чималих трансформацій. Як уже зазначалося, довгий час прошарки конкрецій чорного кременю прив'язувалися до верхньосеноманського під'ярусу верхньої крейди (Палієнко та ін., 1971). Після введення в 1987 р. так званої "бурімської світи", яка спершу включала лише відклади альбу, а згодом, після палеонтологічних уточнень, вік її визначили як пізньоальбськоранньосеноманський (Іванік та ін., 2014; Крочак та ін., 2016), конкреції чорного кременю автоматично були віднесені до складу бурімської світи. Наприкінці 90-х років минулого століття професором С. Морозом обґрунтовувалася олістостромна гіпотеза походження Канівських дислокацій і пов'язане з нею формування "глядівської світи палеоцену". Остання включала "товщу вапнистіх і безкарбонатних пісків, різнозернистих, іноді гравелістних, з пісковиками, що раніше помилково належали до альбського ("шар Виржиківського") та сеноманського ярусів крейди" (Мороз, 1994; Мороз та ін., 1995). Отже, до палеоценових відкладів потрапили і крем'яні конкреції. У подальшому валідність нової схеми стратиграфії палеоценових відкладів не була доведена, не розглядалася і не затверджувалася Національним стратиграфічним комітетом України, тому геологи відмовилися від її

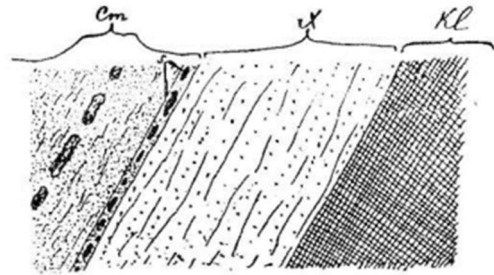
використання і повернулися до попереднього стратиграфічного розчленування мезозой-кайнозойської товщі цього регіону (Киселевич, 2005).

Варто зауважити, що в тексті Пояснювальної записки до Державної геологічної карти України, аркушу М-36-XX (Корсунь-Шевченківський) (Державна геологічна карта України, 2012), яка повинна була б прояснити ситуацію, у літологічних описах, на жаль, не наводиться інформація щодо вмісту "чорного кременю" чи "крем'яної гальки" ні у відкладах смілянських верств ("шар Виржиківського"), ні у відкладах бурімської світи (верхній альб – нижній сеноман), ні у відкладах товщі крейди та мергелів (верхній сеноман), ні в будь-яких інших, більш молодих,

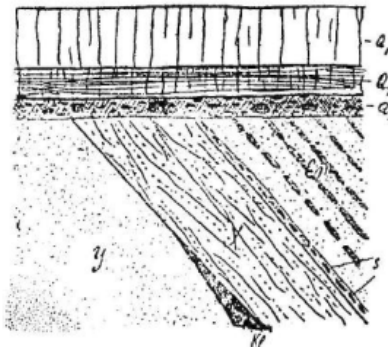
осадових утвореннях. В останні роки співробітниками ННІ "Інститут геології" КНУ імені Тараса Шевченка опубліковано нові дані щодо будови мезозой-кайнозойського осадового покриву Канівських дислокацій. У них детально описаний літологічний склад і седиментаційні особливості відкладів бурімської світи, а прошарок гальки чорних кременів діagenетичного походження побіжно згадується в її базальному горизонті (Крочак та ін., 2016) (рис. 5). Проте в навчально-методичному посібнику для проведення геологічної практики (Іванік та ін., 2017, с. 39) включення "гальки чорних кременів" знову описано у складі "шару Виржиківського" (копанка в гірловій ділянці яру Меланчин потік).



Черт. 1. Обнаження правий стіни Крутого Ярка у входу; Cm—сеноманські піски з пісчаниками, що містять в нижній частині чорні кремнієві гальки—з, х—слої кварцево-каолинові гравію ок 1/4 м Kl—келловейська світлобура глина.



Черт. 2. Обнаження в лівій стіні Молдавіна Потока недалеко оть устя оврага; Cm—сеноманські піски з пісчаниками (з—чорні кремнієві гальки), х—близький кварцево-каолиновий гравій, Kl—келловейська буря глини.



Черт. 3. Обнаження в лівій стіні Комашиного Яра. Q₁—лессь—8 м., Q₂—лесові суглинки—1,2 м., Q₃—валунний слой—1 м., Cm—сеноманські піски з пісчаниками 25 м.; S—кремнієві гальки в основанні сеномана; X—кварцево-каолиновий гравій—1 1/4 м., U—ярко-зелений мелкий пісок; Kl—выклинивающаяся прослойка глины—0,07 м.

Рис. 4. Авторські зарисовки відслонень Р. Виржиківського (Виржиковский, 1916)

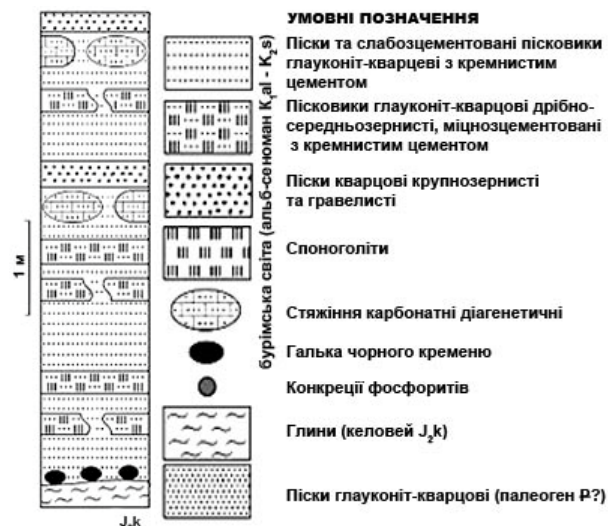


Рис. 5. Схематичний розріз відслонення бурімської світи в Мар'їному яру (Крочак та ін., 2016)

На наш погляд, віднесення прошарку кременів до "шару Виржиківського" є помилковим. На користь цього свідчить аналіз необхідних умов і можливих процесів формування крем'яних конкрецій. І хоча генезис більшої частини останніх, як зазначає В. Фролов (Фролов, 1992), залишається не повністю з'ясованим і спірним як за джерелом речовини, так і за способом та умовами накопичення, можливо виокремити деякі специфічні для них генетичні ознаки. Процеси оформлення силікатної речовини у формі конкрецій у товщі осадових порід кардинально відрізняються від процесів утворення пластових силіцитів. Складаються такі умови, за яких кремнезем у твердій фазі стає рухомих (розчиняється у воді), мігрує з поровими водами до центрів кристалізації і, зрештою, знову випадає у тверду фазу, нарощуючи їхню масу та об'єм. Найкраще цей процес виявляється у карбонатних породах, які забезпечують сприятливий для розчинення і руху кремнезему лужний характер порових вод. Центрами кристалізації найчастіше стають мікроділянки осаду з низьким значенням рН. Стягування кремнезему починається ще під час гальміролізу (підводного вивірювання), одночасно з формуванням осаду, і продовжується в стадію діагенезу та катагенезу. Так триває доти, доки існує градієнт концентрації кремнезему у водному середовищі й поки осад є проникним для дифузного переміщення речовини (Фролов, 1992).

Серед найпоширеніших у природі процесів утворення конкрецій розрізняють чотири різновиди (Ковнурко, 1971): 1) органогенне осадження кремнезему з морської води; 2) розчинення аморфного кремнезему; 3) взаємодія розчиненого кремнезему з бікарбонатом кальцію під впливом вуглекислоти, що з'являється при бактеріальному розкладі органічної речовини; 4) розкристалізація кремнезему і розкладання гідросилікату кальцію. Відмічається приуроченість кременів до найбільш чистих від глинистих мінералів карбонатних порід, оскільки глинисті мінерали мають здатність до адсорбування іонів кальцію, що утворюються при гідролізі карбонату кальцію (Ковнурко, 1971). Так чи інакше, ураховуючи викладене вище, утворення крем'яних конкрецій у "шарі Виржиківського" видається неможливим, оскільки, по-перше, він складений некарбонатними породами, по-друге, присутність у значній кількості глинистого мінералу – каоліну перешкоджає накопиченню кремнезему.

Висновки. Район Канівських дислокацій для палеолітичної людини був оптимальним регіоном з точки зору добування кременів, адже тут завдяки ерозійній діяльності тимчасових водотоків, які розкривали дислоковані осадові товщі, кременевмісні породи були виведені на рівень денудаційного різку. Ще зручніше їх було збирати в пухких пролювіальних відкладах конусів виносу ярів, які виходили в заплаву Дніпра та Росі. Там же можна було знайти й уламки кристалічних порід (гранітів, гнейсів, кварцитів) із валунних суглинків дніпровського кліматоліту. Найімовірніше, першоджерелом надходження кременів до конусів виносу були відклади сеноману або, за сучасним стратиграфічним поділом мезозой-кайнозойської товщі, відклади бурімської світи (верхній альб – нижній сеноман). Палеогеографічна обстановка, седиментаційні умови та літологічний склад "шару Виржиківського" не могли забезпечити формування крем'яних конкрецій.

Можливість добування крем'яної сировини безпосередньо поблизу Межирицької стоянки, на місці між заплавами Росі та Росави, тобто на прилеглому до тераси плато в ярах і балках, де в геологічному розрізі присутні крейдові відклади, видається сумнівною. Адже крейдові відклади залягають тут нижче рівня місцевого базису ерозії і в ярах не відслонюються. Тому саме специфічна

геологічна будова Канівських гір та їхні дислоковані породи у сукупності з активними процесами водної ерозії відіграли важливу роль у формуванні сировинної забезпеченості пізньопалеолітичної стоянки Межирич.

Список використаних джерел

- Вовк, В.К. (2012). Геологічний словник. Кіровоград: КОД.
- Виржиковский, Р.Р. (1916). К геологии южной части Каневского уезда. *Протоколы Киевского общества естествоиспытателей* з 1915 г., 1–11.
- Гладких, М.И. (2001). Кремниевый инвентарь Межиричского позднелпалеолитического поселения. *Vita Antiqua*, 3–4, 15–21.
- Державна геологічна карта України. (2012). Масштаб 1 : 200000. Центрально-українська серія. Аркуш М-36-XX (Корсунь-Шевченківський). К. : Державна служба геології та надр України.
- Залізняка, Л.Л. (2005). Фінальний палеоліт і мезоліт континентальної України. *Кам'яна доба України*, 8.
- Іванік, М.М., Пяткова, Д.М., Плотнокова, Л.Ф., Жабіна, Н.М., Шевчук, О.А., Веклич, О.Д. (2014). Модернізація стратиграфічних схем мезозойських відкладів України. *Тектоніка і стратиграфія*, 41, 75–89.
- Іванік, О.М., Менасова, А.Ш., Огієнко, О.С., Тустановська, Л.В. (2017). Перша навчальна геологічна практика. Отримано з http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/method_geol_practic.pdf
- Киселевич, Л.С. (2005). Глядівська світа: проблеми виділення та валідності. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 33, 36–39.
- Ковнурко, Г.М. (1971). Состав, происхождение и вопросы патинизации конкреций кремня. *Автореф. дис. ... канд. геол. наук. Л. : Ленинградский университет*.
- Крошак, М., Огієнко, О., Тимченко Ю. (2016). Склад, будова та генезис бурімської світи (верхній альб – нижній сеноман) району Канівських дислокацій. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 4 (75), 6–12.
- Мороз, С.А. (1994). Природа та механізми утворення Канівських гір (дислокацій). *Доповіді НАН України*, 9, 110–114.
- Мороз, С.А., Кирвел, Н.С., Соляк-Круковський, Ю.В., Чернова, Л.В. (1995). Глядівська світа палеоцену Канівського страторегіону. *Тези XVIII сесії УПТ*, 46–47.
- Нужний, Д.Ю., Шидловський, П.С. (2009). Індустріальна варіабельність господарських об'єктів першого житла Межирицького верхньопалеолітичного поселення. *Археологічний альманах*, 20, 203–218.
- Палієнко, Е.Т., Мороз, С.А., Куделя, Ю.А. (1971) Рельєф та геологічна будова Канівського Придніпров'я. К. : ВПЦ "Київський університет".
- Петрунь, В.Ф. (2004). Використання мінеральної сировини населенням трипільської культури. *Енциклопедія трипільської цивілізації*. Т. 1. К., 199–218.
- Пидопличко, І.Г. (1969). Позднепалеолитические жилища из костей мамонта на Украине. К. : Наук. думка.
- Пидопличко, І.Г. (1976). Межиричские жилища из костей мамонта. К. : Наук. думка.
- Пічкур, Є.В., Шидловський, П.С. (2003). Комплекс кременеобробки поселення Пекарі II. Трипільські поселення-гіганти. К. : Корвін Пресс, 22–23.
- Рижов, С.М. (2004). Крем'яні виходи Канівського Придніпров'я. *Кам'яна доба України*, 5, 112–118.
- Фролов, В.Т. (1992). Происхождение силициев. *Литоология. М. : МГУ*, 301–305.

Reference

- Derzhavna heolohichna karta Ukrainy. (2012). Masshtab 1:200 000. Tsentral'no-ukrayins'ka seriya. Arkush M-36-XX (Korsun'-Shevchenkiv's'kyi). Kyiv: Derzhavna sluzhba heolohiyi ta nadr Ukrainy. [in Ukrainian]
- Frolov, V.T. (1992). Proiskhozhdeniye silitsitov. *Litologiya. Moskva: MGU*, 301-315. [in Russian]
- Gladkikh, M.I. (2001). Kremniyevyy inventar' Mezhirichskogo pozdnepaleoliticheskogo poseleniya. *Vita Antiqua*, 3-4, 15-21. [in Russian]
- Ivanik, O.M., Myenasova, A.SH., Ohienko, O.S., Tustanov's'ka, L.V. (2017). Persha navchal'na heolohichna praktyka. Retrieved from http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/method_geol_practic.pdf. [in Ukrainian]
- Ivanik, M., Pyatkova, D., Plotnikova, L., Zhabina, N., Shevchuk, O., Veklych, O., Anikeeva, O. (2014). Modernization of the stratigraphic schemes of Mesozoic deposits in Ukraine. *Tectonic and Stratigraphy*, 41, 75–89. [in Ukrainian]
- Kovnurko, G. M. (1971). Sostav, proiskhozhdeniye i voprosy patinizatsii konkretyi kremnya. *Extended abstract ... Cand. thesis (Geol. Sci.)*. Leningrad: Leningradskiy universitet. [in Russian]
- Krochak, M., Ogienko O., Tymchenko Yu. (2016). Sklad, budova ta henezys burim'koyi svity (verkhniy alb – nizhniy senoman) rayonu Kaniv's'kykh dyslokatsiy. *Burimska suite (Upper Albion – Lower Cenomanian) of Kanev dislocation: its composition, structure and genesis. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4 (75), 6-12. [in Ukrainian]
- Kyselevych, L.S. (2005). Hlyadiv's'ka svita: problem vydilennya ta validnist'. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 33, 36-39. [in Ukrainian]
- Moroz, S.A. (1994). Pryroda i mekhanizmy utvorenniya Kaniv's'kykh hir (dyslokatsiy). *Dopovidi NAN Ukrainy*, 9, 110-114. [in Ukrainian]
- Moroz, S.A., Kyrvet, N.S., Soiyak-Krakov's'kyi, YU.V., Chernova, L.V. (1995). Hlyadiv's'ka svita paleotsenu Kaniv's'koho stratorehionu. *Tezy XVIII sesiyi UPT*, 46-47. [in Ukrainian]
- Nuzhnyy, D.YU., Shydlov's'kyi, P.S. (2009). Industrial'na variabel'nist' hospodars'kykh ob'yektiv pershoho zhytla Mezhyrit's'koho

verkhno'paleolitychnoho poselennya. *Arkheologicheskyy al'manakh*, 20, 203-218. [in Ukrainian]

Paliyenko, E.T., Moroz, S.A., Kudelya, Y.U.A. (1971). *Rel'yef ta heolohichna budova Kanivs'koho Prydniprov'ya*. Kyiv: Vydavnytstvo Kyivs'koho universytetu. [in Ukrainian]

Petrin, V.F. (2004). *Vykorystannya mineral'noy syrovyny naselennam trypil'skoyi. Entsyklopediya trypil'skoyi tsyvilizatsiyi*. Tom 1. Kyiv, 199-218. [in Ukrainian]

Pichkur, Y.E.V., Shydlovskyy, P.S. (2003). Complex of flint processing of the settlement Pekari II. *Trypil's'ki poselennya-hihanty*. Kyiv: Korvin Press, 22-23. [in Ukrainian]

Pidoplichko, I.G. (1969). *Pozdnepaleoliticheskiye zhilishcha iz kostey mamontana Ukraine*. Kyiv: Naukova dumka. [in Russian]

Pidoplichko, I.G. (1976). *Mezhirichskiy zhilishcha iz kostey mamonta*. Kyiv: Naukova dumka. [in Russian]

Ryzhov, S.M. (2004). *Krem'yani vykhody Kanivs'koho Prydniprov'ya. Kam'yana doba Ukrainy*, 5, 112-118. [in Ukrainian]

Virzhikovskiy, R.R. (1916). *K geologii yuzhnoy chasti Kanevskogo uyezda. Protokoly Kiyevskogo obshchestva yestestvoispytateley za 1915 g.*, 1-11. [in Russian]

Vovk, V.K. (2012). *Heolohichnyy slovnyk*. Kirovohrad: KOD. [in Ukrainian]

Zaliznyak, L.L. (2005). *Final'nyy paleolit i mezolit kontyental'noy Ukrainy. Kul'turnyy podil ta periodyzatsiya. Kam'yana doba Ukrainy*, 8. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 12.02.20

S. Bortnyk^{1,2}, Dr. Sci. (Geogr.), Prof.,

E-mail: bs_7@ukr.net;

N. Pohorilchuk¹, Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof.,

E-mail: georada@ukr.net;

O. Kovtoniuk¹, Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof.,

E-mail: kovtonyuko@i.ua

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Geography,

2 Glushkova Ave., Kyiv, MSP-680, Ukraine;

²Jan Kochanowski University, Kielce, Poland

AGE AND ORIGIN OF FLINT TOOLS OF THE MEZHIRICHCHIA GEOARCHAEOLOGICAL MONUMENT (KANIV DNIEPER LOWLAND)

The article clarifies the stratigraphic binding and origin of silicon nodules, which served as the main raw material for the manufacture of tools for mammoth hunters of the Mezhyrich Late Paleolithic site. In archaeological publications, these nodules are often mentioned to be confined to the "Virzhikovsky layer" (the Albion layer of the Lower Cretaceous), which was formed under continental conditions and consists of sand-clay (kaolin, in particular) deposits. The analysis of the necessary conditions and possible mechanisms for the formation of silicon nodules indicates the erroneousness of such ideas. Most likely, the source of silicon raw materials was the marine deposits of the Cenomanian (Upper Cretaceous), or, in accordance with the modern stratigraphic division of the Mesozoic-Cenozoic sequence, deposits of the Burim suite (upper Albion – lower Cenomanian). The paleogeographic setting, sedimentological conditions and lithological composition of the "Virzhikovsky layer" did not ensure the formation of silicon nodules in it in the form of inclusions. The latter are diagenetic in origin and could only form in the thickness of carbonate rocks, free of clay minerals. The region of Kaniv dislocations was the optimal region from the silicon production point of view, which was determined: firstly, by the tectonic dislocation of the sedimentary sequence, which contributed to the removal of deposits containing silicon nodules in the thickness of younger rocks; secondly, the erosion activity of temporary streams, which brought these deposits to the level of the denudation cut-off. The most convenient place for collecting flints was not the outcrop of bedrock in ravines but the cones of their removal, which overlook the floodplains of the Dnipro and Ros'. The possibility of collecting flint in the immediate vicinity of the Mezhyrich site, in the ravines and gullies between the Ros and Rosava rivers, does not find confirmation, since the chalk deposits here lie much lower than the local erosion base and are not exposed by ravines. Therefore, the leading role in the formation of the raw material supply of the Late Paleolithic site of Mezhyrich was played by the region adjacent to the Kaniv mountains of the alluvial-proluvial plain.

Keywords: geoaerchaeology, Mezhyrich, silica nodules, "Virzhikovsky layer".

С. Бортник^{1,2}, д-р геогр. наук, проф.,

E-mail: bs_7@ukr.net;

Н. Погорильчук¹, канд. геогр. наук, доц.,

E-mail: georada@ukr.net;

О. Ковтонюк¹, канд. геогр. наук, доц.,

E-mail: kovtonyuko@i.ua;

¹Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, географический факультет,

пр. Акад. Глушкова, 2, г. Киев, МСП-680, Украина;

²Университет Яна Кухановского, ул. Свентокшиская 15, г. Кельце, Польша

О ВОЗРАСТЕ И ПРОИСХОЖДЕНИИ КРЕМНИЕВОГО ИНВЕНТАРЯ ГЕОАРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА МЕЖИРИЧ (КАНЕВСКОЕ ПРИДНЕПРОВЬЕ)

Уточнены стратиграфическая привязка и происхождение кремневых конкреций, которые служили основным сырьем для изготовления орудий труда охотников на мамонтов Межиричской позднепалеолитической стоянки. В археологических публикациях часто упоминается, что эти конкреции приурочены к "слою Выржиковского" (альбский ярус нижнего мела), который образовался в континентальных условиях и состоит из песчано-глинистых (в частности, каолиновых) отложений. Проведенный анализ необходимых условий и возможных механизмов формирования кремневых конкреций свидетельствует об ошибочности таких представлений. Вероятнее всего, источником кремневого сырья были морские отложения сеномана (верхний мел) либо, в соответствии с современным стратиграфическим расчленением мезозой-кайнозойской толщи, отложения буриимской свиты (верхний альб – нижний сеноман). Палеогеографическая обстановка, седиментологические условия и литологический состав "слоя Выржиковского" не обеспечивали формирования в нем кремневых конкреций в виде включений. Последние, по своему происхождению, являются диагенетическими и могли образоваться только в толще карбонатных пород, чистых от глинистых минералов. Район Каневских дислокаций был оптимальным регионом с точки зрения добывания кремния, что определялось: во-первых, тектонической дислоцированностью осадочной толщи, которая способствовала выведению отложений, вмещающих кремневые конкреции, в толщу более молодых пород; во-вторых, эрозийной деятельностью временных водотоков, которая вывела эти отложения на уровень денудационного среза. Наиболее удобным местом для собирания кремния были не столько обнажения коренных пород в оврагах, сколько конусы их выноса, которые выходили на поймы Днестра и Роси. Возможность добычи кремния в непосредственной близости от Межиричской стоянки, в оврагах и балках между речью Роси и Росавой, не находит своего подтверждения, поскольку меловые отложения тут залегают значительно ниже уровня местного базиса эрозии и не обнажаются оврагами. Поэтому в формировании сырьевой обеспеченности позднепалеолитической стоянки Межирич ведущую роль сыграл именно район примыкающей к Каневским горам алювиально-пролювиальной равнины.

Ключевые слова: геoaerchaeология, Межирич, кремневые конкреции, "слой Выржиковского".

УДК 502.58

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.02>

В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, проф.,

E-mail: svgeol44@gmail.com;

Л. Тустановська, канд. геол. наук,

E-mail: ljume4@ukr.net;

Д. Кравченко, канд. геол. наук,

E-mail: dm.vl.kravchenko@gmail.com;

К. Гадяцька, інж.,

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

РЕКОНСТРУКЦІЯ НОВІТНЬОЇ ГЕОДИНАМІКИ СЕРЕДНЬОГО ПРИДНІПРОВ'Я ТА ЇЇ ПРОЯВИ В РЕЛЬЄФІ

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

На основі комплексного структурно-морфометричного аналізу, даних дистанційного зондування Землі та ГІС-аналізу реконструйовано еволюцію палеорельєфу правобережжя Середнього Придніпров'я у новітній період. На основі постадійного морфоструктурно-неотектонічного аналізу простежено морфодинамічний та еволюційний тренд рельєфоутворення цього регіону. Виділено та охарактеризовано три морфоструктури (Київський, Обухівський, Канівсько-Трахтемирівські блоки). Визначено кількісні показники рельєфу впродовж кожної стадії, проаналізовано сумарні амплітуди коливань як упродовж коротких інтервалів часу, так і за весь неоген-четвертинний період. Загалом амплітуда коливань висот рельєфу Середнього Придніпров'я в неоген-четвертинний період у північній частині становила 100 м, у південній – 135 м. Реконструйовано диференційований характер неотектонічних рухів і зміну їхньої активності в часі. Підтверджено, що північні райони регіону мали активну висхідну динаміку рухів у неогенову епоху, а південні – у четвертинному періоді. Протягом сучасного етапу спостерігається тенденція до тектонічних підняття північно-східних районів і опускання південно-західних. Отримані дані можуть служити основою для аналізу впливу тектонічних рухів на активізацію небезпечних геологічних процесів у межах Середнього Придніпров'я та прогнозу їхнього розвитку в майбутньому.

Ключові слова: структурно-морфометричний аналіз, поверхня вирівнювання, базисна поверхня, неотектогенез, морфо-генез, тектонічні рухи, геодинаміка.

Вступ та постановка проблеми. У неотектонічному відношенні територія України вирізняється нерівномірним проявом новітніх тектонічних рухів, які характерні для різних структурних елементів та окремих блоків в їхніх межах. Територія Середнього Придніпров'я в геоструктурному відношенні приурочена до північно-східного схилу Українського щита та Дніпровсько-Донецької западини. Виділяються два структурні яруси: нижній складений дислокованими докембрійськими породами; верхній структурний ярус – осадовими мезо-кайнозойськими породами моноклінального залягання з поступовим зануренням у східному та північно-східному напрямку. Кристалічний фундамент розбитий серією розломів субмеридіонального, субширотного, північно-східного та північно-західного простягання. У неотектонічному плані найактивнішими є регіональні структури з різницею показників сумарних амплітуд рухів до 60 м. Зоні найбільшого, Київського розлому, відповідають значні показники середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів – понад 0,01 (см/км)/тис. років. Представлені дослідження проводились у межах правобережної частини Середнього Придніпров'я (від Києва до Канева), оскільки саме в межах цього регіону спостерігається максимальна активізація небезпечних геологічних процесів (гравітаційних, водно-ерозійних, водно-аккумулятивних та ін.), що потребує комплексної оцінки впливу геологічних і геоморфологічних факторів на їхнє формування. У геоморфологічному відношенні територія розташована на Київському плато в межах Придніпровської височини, яка від Києва до Канева порізана ярами та балками. Оскільки сучасний рельєф є результатом взаємодії ендегенних та екзогенних процесів, то вивчення форм рельєфу з визначенням закономірностей прояву структурних та орографічних форм є головним завданням при аналізі процесів впливу тектогенезу та морфо-генезу як на морфоструктурні особливості території, так і на прояв сучасних екзогенних геологічних процесів.

При цьому особливого значення набуває морфоструктурне районування території, яке дає можливість диференціювати прояв тектонічних процесів у межах окремих тектонічних блоків, визначити направленість та упорядко-

ваність тектонічних рухів, проаналізувати геоморфологічну зональність, охарактеризувати давні та сучасні морфоструктурні плани. Морфоструктурний аналіз дає можливість визначити просторово-часові закономірності зон неотектонічної активності, виявити ділянки з високими градієнтами новітніх тектонічних рухів та їхнім впливом на формування сучасного рельєфу. Ці дослідження сприяють виявленню комплексу терасових рівнів, утворення яких може бути пов'язане як із коливальними тектонічними рухами, так і зі змінами базису ерозії. Одним із головних методів, що дозволяє визначити головні етапи морфо-генезу та текто-генезу території, є структурно-морфометричний, який у поєднанні з методами дистанційного зондування Землі, ГІС-аналізом і статистичними обрахунками надає можливість реконструювати новітню геодинаміку регіону. Цей метод є інструментом виявлення генетичного зв'язку між геоморфологічними та тектонічними процесами, між формами земної поверхні та структурами земної кори. Завданням *структурно-морфометричного аналізу* є створення моделей земної поверхні з їхньою подальшою інтерпретацією. За результатами структурно-морфометричних досліджень виконується реконструкція тектонічного розвитку території через розвиток рельєфу в новітній час, розрахунки амплітуди тектонічних рухів, установлення етапів тектонічної активізації та аналізу потенційного розвитку небезпечних геологічних процесів.

Метод структурної морфометрії базується на графічному розкладанні рельєфу на базисні, залишкові, вершинні й ерозійні поверхні відповідно до порядків долин і вододільних ліній. Він передбачає виконання низки картографічних операцій, що ускладнює його використання в регіонах із складним, різко розчленованим рельєфом.

Структурно-морфометричні дослідження та аналіз карт базисних поверхонь у межах Середнього Придніпров'я. Оцінка динаміки структур, утворених у новітній період, проводилася за допомогою аналізу побудованих карт порядків долин і карт базисних поверхонь з урахуванням ярусності рельєфу та терасових рівнів. Еталонним регіональним геолого-геоморфологіч-

ним об'єктом для оцінки сумарних амплітуд неотектонічних рухів земної кори було прийнято побудовані карти базисних поверхонь Канівського Придніпров'я (Іванік, Тустановська, 2011). Ураховуючи ту обставину, що рельєф є інтегральним відображенням неотектонічних рухів, денудаційних процесів і літолого-стратиграфічних умов, детальне вивчення рельєфу стає ефективним способом для з'ясування послідовності та етапності процесів неотектогенезу в межах певних структур. Для створення серії морфометричних карт використано дані дистанційного зондування Землі та геоінформаційні технології, які є дієвим інструментом у різнобічному дослідженні рельєфу, насамперед кількісної та якісної інтерпретації морфометричних даних, а також для виділення різновікових гео- та морфоструктур за набором даних. Для обробки супутникових зображень використано спеціалізовані модулі ГІС (Ivanik et al., 2019).

Неотектонічний етап відзначався загальною зміною знака тектонічних рухів для всієї території Середнього Придніпров'я. У неогені почався континентальний період

формування рельєфу. На фоні загального підняття Українського щита фіксуються різноспрямовані рухи окремих блоків, зокрема Київського та Канівсько-Трахтемирівського.

У ході досліджень на територію Середнього Придніпров'я було побудовано карту порядків долин (рис. 1). Для її побудови було використано розроблений алгоритм із вбудованим функціональним модулем Spatial Analyst і потужних інструментів Arc Toolbox.

Порядок долин пов'язаний з геологічним віком. Чим вищий порядок, тим давніші долини, які закладаються по тектонічно ослаблених зонах земної кори (розломи, тріщини). При цьому долини вищих порядків мають більшу довжину та глибоко врізаються в міждолинні простори. Долини нижчих порядків, навпаки, відображають зони тріщинуватості та розривні порушення, які пов'язані з їхньою будовою і приурочені до верхніх структурних ярусів (Муроненко, 2007). Геологічний вік долин установлюється за віком і кількістю терас. На території досліджуваного регіону долини річок Дніпро (10-й порядок) і Росава (9-й порядок) мають найвищі порядки (рис. 1), що підтверджує їхнє формування у дочетвертинний час.



Рис 1. Фрагмент карти порядків долин Середнього Придніпров'я

На основі отриманої карти порядків долин досліджуваної території, було побудовано 10 карт базисних поверхонь і виконано подальшу геолого-геоморфологічну інтерпретацію отриманих даних.

Інтерпретація морфометричних карт відповідних порядків дала можливість простежити еволюцію рельєфу морфоструктур у дочетвертинний період. Протягом палеогену територія Середнього Придніпров'я мала відносно стабільне положення і малоактивний тектонічний режим, тому неодноразово вкривалася мілководними епіконтинентальними морями.

У неогені на досліджуваній території переважали висхідні рухи, але з більш дрібними ритмами та більш короткими періодами і меншими амплітудами тектонічних рухів (Палієнко, 1992). Такі зміни відбувалися по всьому правобережжю, свідченням цьому є побудовані морфометричні карти базисних поверхонь. Саме картами найвищих – 10-, 9- та 8-х порядків (рис. 2), було зафіксовано послідовне блокове формування морфоструктур.

На карті базисних поверхонь 10-го порядку виділено морфоструктуру Обухівського блока з максимальними висотними показниками до 140 м і мінімальними – 90 м (рис. 2, а). Вона розташована між Київським і Канівсько-Трахтемирівським блоками, які на той час ще не були сформовані.

Імовірно в міоценовий час територія Середнього Придніпров'я зазнає некомпенсованих рухів, що фіксує карта базисної поверхні 9-го порядку. Територія щита продовжує підніматися, і, порівняно з попередньою стадією характеризується збільшенням площі підняття та незначним зростанням амплітуди коливань висот рельєфу

до 15 м, при цьому мінімальні висоти залишаються незмінними – 90 м. У цей період починає формуватися Київський блок, який має незначне вираження в рельєфі із максимальними висотними показниками до 120 м, а мінімальними – до 90 м. Одночасно на південь від м. Ржищів починає формуватися ще одне підняття, яке в майбутньому сформує Канівсько-Трахтемирівський блок з незначним перевищенням рельєфу до 25 м (рис. 2, б).

У середньо-міоценовий час активізація висхідних рухів супроводжувалася збільшенням гіпсометричних відміток території всього Середнього Придніпров'я на 25–40 м. Такі зміни фіксує карта базисної поверхні 8-го порядку. Територія, що піднімається, у морфологічному плані збільшується у північному та південно-східному напрямках. Київський блок на цій стадії завершив формування, а Канівсько-Трахтемирівський ще продовжує формуватися. Територія Правобережжя збільшується, виділяються три великі окремі геоструктури Правобережжя (Київський, Обухівський та Канівсько-Трахтемирівський блоки, рис. 2, в). Долина Дніпра в цей період лежала східніше відносно сучасного положення, відмітка врізу води сягала 132 м.

Подальший аналіз морфометричних даних дозволяє виділити протягом пліоценового часу інтервали різної протяжності, що характеризуються різною активізацією тектонічних рухів і значними амплітудами коливань висот рельєфу. Простежується диференціація активності рухів земної поверхні у межах окремих стадій формування палеорельєфу. Картою базисної поверхні 7-го порядку зафіксовано слабку тектонічну активність Київського та Обухівського блоків з підняттями до 10 м. Висотне положення Канівсько-Трахтемирівського блока

майже не змінилося порівняно з попередньою стадією, гіпсометричні показники залишаються стабільними, уповільнюється завершення формування Канівського блока-горсту (рис. 3, а). Найвищою ділянкою цього часу є територія Обухівського блока з максимальними показниками до 190 м, яка характеризується достатньо крутими схилами та гостровершинними вододілами, які на півночі змінюються на плосковершинні. При цьому Київський блок відзначається висотами до 145 м і схилами незначної крутизни, його поверхня має слабковигнуту

форму. Базис ерозії в цей період сягає 90 м, максимальні перевищення в рельєфі – 55 м.

Таким чином, у пліоценовий час за морфометричними даними в північно-східній частині Українського щита та на його схилах підтверджено тектонічну активізацію, виражену у висхідних рухах. Південно-східні ділянки щита характеризувались відносно стабільним тектонічним режимом.

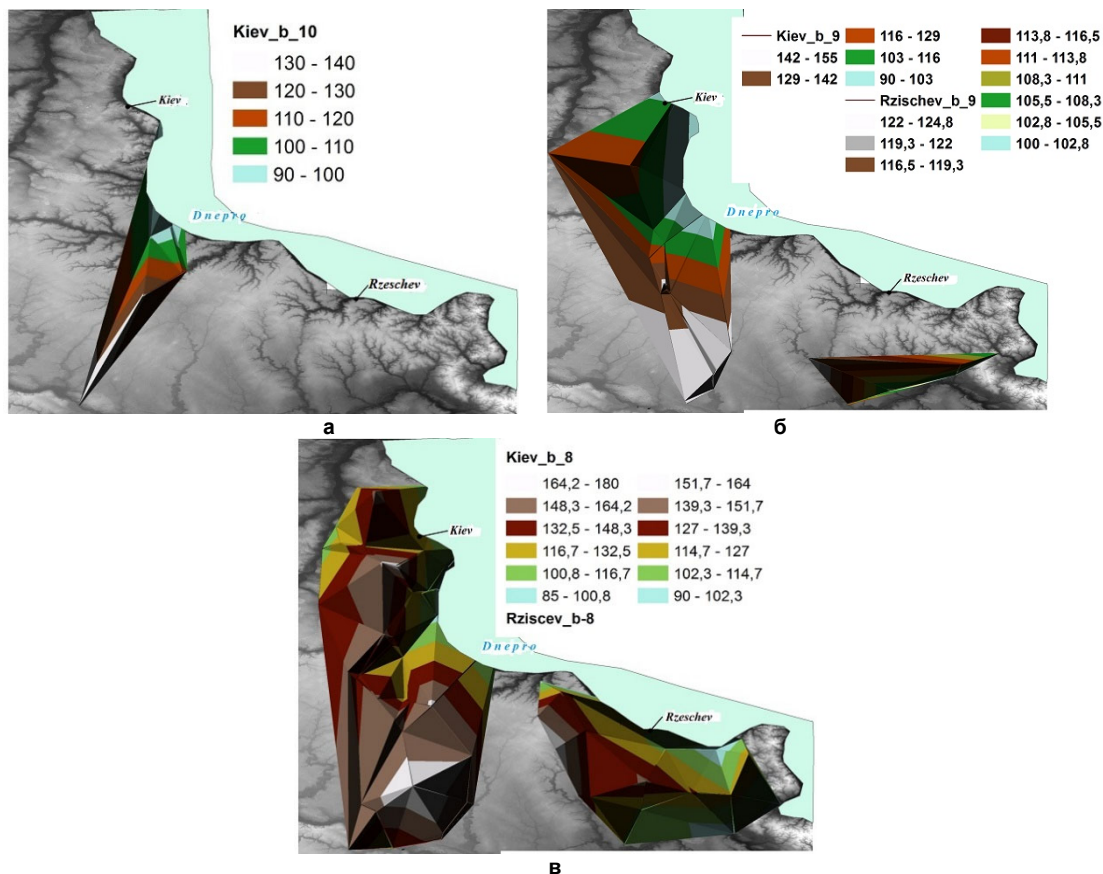


Рис. 2. Карти базисних поверхонь 10- (а), 9- (б) та 8-го (в) порядків

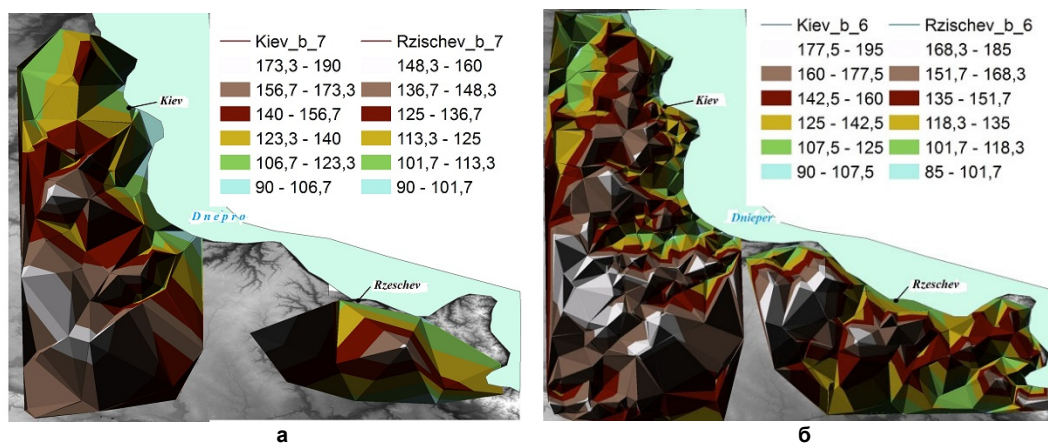


Рис. 3. Карти базисних поверхонь 7-го (а) та 6-го (б) порядків

Загалом кінець неогенового та початок четвертинного періоду характеризуються перебудовою структурного плану Середнього Придніпров'я та активізацією тектонічних рухів земної кори із домінуючими висхідними рухами, у результаті яких окреслюються головні гетерогенні регіональні морфоструктури. За даними В.П. Палієнко, у четвертинний період практично вся територія

Правобережжя зазнає висхідних тектонічних рухів (Палієнко, 1992). У цей час майже повністю сформована вододільна система Правобережжя, що підтверджується морфологічним планом карти базисної поверхні 6-го порядку. Порівняно з попередньою стадією чітко окреслюється Канівсько-Трахтемирівський блок, висотні показники якого збільшилися на 25 м. Відбувається

перебудова долини Дніпра, базис ерозії заглиблюється на 5 м і становить 85 м (рис. 3, б). Особливою динамічною активністю у цей період вирізняються південно-

східні райони регіону, що характеризуються максимальними висотами до 185 м та крутими схилами, спрямованими в бік долини р. Дніпро.

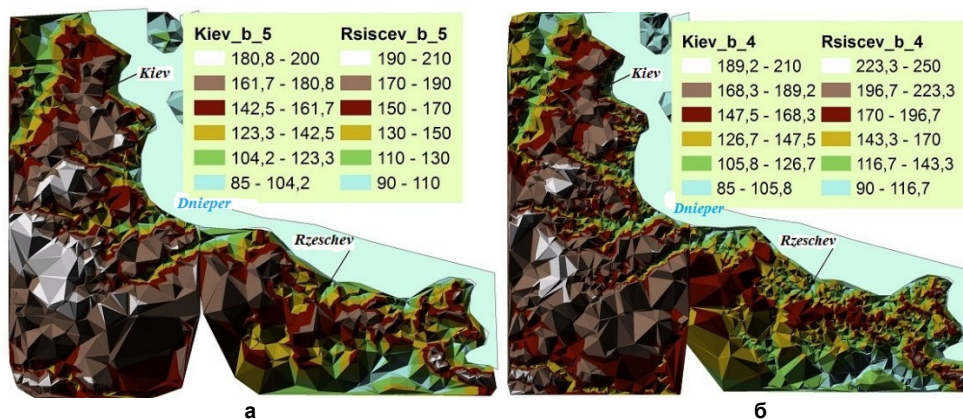


Рис. 4. Карти базисних поверхонь 5-го (а) та 4-го (б) порядків

Карта базисної поверхні 5-го порядку (рис. 4, а) відповідає *ранньочетвертинному етапу* розвитку Середнього Придніпров'я. У цей період північні та південні райони Середнього Придніпров'я мають різну динаміку підняття. Амплітуда коливань висот рельєфу Київського блока є незначною і становить 5 м, максимальні гіпсометричні відмітки сягають 200 м, базис ерозії знизився на 5 м і характеризується мінімальними висотними показниками – 85 м. Канівсько-Трахтемирівський блок у цей час зазнає інтенсивної тектонічної активізації із підняттям на 25 м порівняно з попередньою стадією розвитку, відмітки рельєфу сягають 210 м. Інтенсифікація тектонічних процесів призвела до активізації ерозійних процесів, врізання долин у міжвододільні простори та перебудови гідрографічної системи загалом.

За даними М.І. Ніколаєва, протягом четвертинного періоду внаслідок тектонічної діяльності відбувається активізація розломних зон, які мають успадкований характер (Николаев, 1962).

У результаті інтерпретації морфометричних карт базисних поверхонь 4-го порядку Середнього Придніпров'я визначено, що наступний етап розвитку характеризує насування дніпровського льодовика (*середній антропоген*), що характеризується локальними дислокаціями з новою активізацією ерозійно-денудаційних процесів (рис. 4, б). Для цього часу характерною є нерівномірність вхідних рухів північних і південних районів Правобережжя. Ділянки Канівсько-Трахтемирівського блока піднімаються до 250 м, що на 40 м вище порівняно з попередньою стадією розвитку. Київський блок протягом цього часу піднімається лише на 10 м, відмітки базису залишаються на попередньому рівні. Однак окремі фрагменти Київського та Обухівського блоків характеризуються значними амплітудами підняття до 100 м.

Активізація тектонічної діяльності спричиняє інтенсивний розвиток ерозійно-денудаційних процесів. Відбувається врізання долин і розчленування великих форм рельєфу із зростанням крутизни схилів. Такі процеси є характерними для більшості правобережних схилів Дніпра. На південному уступі в районі Києва, де долина ріки врізається в суходіл, активізація ерозійної діяльності спричинила відокремлення виступу як окремої підвищеної структури, сформованої на попередніх стадіях. На морфологічний вигляд берегової лінії впливає руслова дія р. Дніпро та особливості літологічного складу гірських порід (Тустановская, 2014).

Інтерпретація карти базисної поверхні 3-го порядку (*пізній антропоген*?) підтверджує стабільні тектонічні умови в північних частинах регіону, при цьому висотні показники

рельєфу залишаються на попередньому рівні. На відміну від північного, південний район зазнає незначної динамічної активності, яка виявилась в утворенні форм рельєфу з максимальними висотними показниками до 255 м, а мінімальними – 80 м, базис ерозії знижується на 5 м (рис. 5, а). У цей період рельєф Канівсько-Трахтемирівський блока, що обмежений з обох боків річковими долинами Дніпра та Росави, характеризується достатньо крутими схилами, ерозійними формами незначної довжини та вододільними просторами з висотними відмітками до 190 м. Вододіли розташовані впритул до долини Дніпра. Необхідно відмітити, що Канівський блок цього часу займає найвище гіпсометричне положення в рельєфі. Північні схили Правобережжя характеризуються незначною активністю тектонічних рухів.

Аналіз карти базисної поверхні 2-го порядку, що характеризує стадію формування Середнього Придніпров'я в кінці *пізнього антропогену*, фіксує поновлення слабких диференційованих рухів у північних частинах регіону (Київський блок). У цей час відбувається перебудова долини Дніпра, одночасно базис ерозії знижується на 5 м, а відмітки рельєфу зростають до 215 м із відповідними амплітудами коливань до 5 м (рис. 5, б). Південні райони (Канівсько-Трахтемирівський блок) залишаються стабільними у своїх висотних показниках, що спричинено постльодовиковими процесами.

Великі структури, що існували на схилах Правобережжя Дніпра протягом попередніх стадій неотектонічного розвитку і розташовувалися на різних висотах, руйнуються і займають понижене положення в рельєфі. Найбільші висоти фіксуються на вододільних просторах з добре вираженою поверхнею вирівнювання. Загалом на цій стадії на всій досліджуваній території фіксується виразна ерозійна діяльність, у результаті якої формуються різномасштабні ерозійні форми.

Сучасний рельєф розвивається на фоні переважних вихідних рухів на всьому Правобережжі Дніпра (рис. 6). Інтерпретація даних сучасного рельєфу фіксує динамічну активність північної частини (Київський та Обухівський блоки) з амплітудами коливань висот рельєфу до 25 м, у результаті яких відбувається інтенсивне врізання долин у міжвододільні простори та утворення позитивних структур. Південний район на цій стадії в тектонічному плані зазнає незначних змін, амплітуда коливань висот рельєфу збільшується лише на 5 м, найвищі висотні показники, що фіксуються на Канівському та Бучацько-Трахтемирівському блоках, становлять 260 м. Відбувається переаглиблення долини Дніпра в межах

субмеридіального розлому майже на 20 м. Взагалі голоценовий час характеризується активною динамікою тектонічних рухів, врізанням русел рік і долин і денудаційним вирівнюванням.

Дослідження структурно-геоморфологічних особливостей та динаміки блокових структур у новітній час і на

сучасному етапі дозволили простежити характер прояву локальних підняття у поєднанні з процесами денудаційного вирівнювання. Морфометричний аналіз динаміки окремих морфоструктур дозволив детально виділити етапність і стадійність в історії їхнього розвитку (табл. 1).

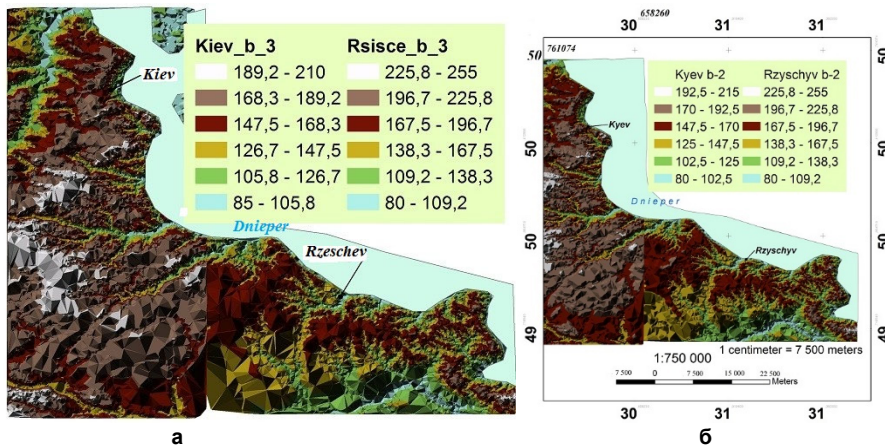


Рис. 5. Карти базисних поверхонь 3-го (а) та 2-го (б) порядків

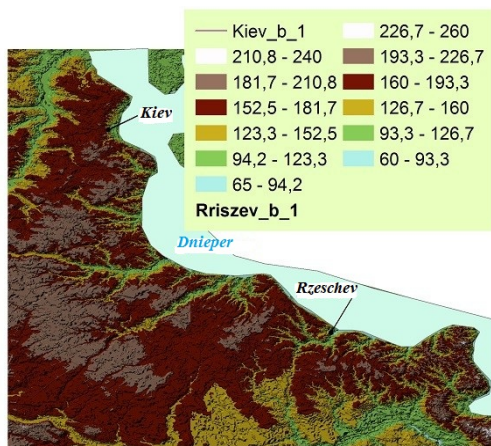


Рис. 6. Карта базисних поверхонь 1-го порядку (сучасна модель рельєфу)

Таблиця 1

Показники неотектонічної активності морфоструктурних зон Середнього Придніпров'я

Базисні поверхні	Північний район (Київський блок, Обухівський блок)		Південний район (Канівсько-Трахтемирівський блок)	
	максимальні відмітки, м	мінімальні відмітки, м	максимальні відмітки, м	мінімальні відмітки, м
10-го порядку	140	90	—	—
9-го порядку	155	90	125	100
8-го порядку	180	85	164	90
7-го порядку	190	90	160	90
6-го порядку	195	90	185	85
5-го порядку	200	85	210	90
4-го порядку	210	85	250	90
3-го порядку	210	85	255	80
2-го порядку	215	80	255	80
1-го порядку	240	65	260	60

Висновки. Інтерпретація морфометричних даних, отриманих у результаті дослідження палеорельєфу Середнього Придніпров'я, надала можливість детально й об'єктивно охарактеризувати активність морфоструктур у неоген-четвертинний період. Комплексні результати геолого-геоморфологічного аналізу та структурно-морфометричних побудов підтверджують ефективність їхнього застосування не тільки при виявленні сучасних активних регіональних морфоструктур, але й окремих локальних структур і блоків, розломів та антиклінальних підняття. Установлено значний вплив диференційованих

тектонічних рухів на формування всіх елементів рельєфу, зокрема поздовжніх профілів долин річок, терасових рівнів і морфології берегової лінії.

На основі комплексного застосування структурно-морфометричного аналізу, методів дистанційного зондування Землі та ГІС-аналізу реконструйовано еволюцію палеорельєфу Середнього Придніпров'я в новітній період, яка мала диференційований характер. Виділено та охарактеризовано три великі геоструктури (Київський, Обухівський та Канівсько-Трахтемирівські блоки), визначено кількісні показники рельєфу протягом кожної стадії,

проаналізовано сумарні амплітуди коливань висот рельєфу як упорядковані короткі інтервали часу, так і за весь неоген-четвертинний період. Загалом амплітуда коливань висот рельєфу Середнього Придніпров'я в неоген-четвертинний період у північних районах становила 100 м, у південних – 135 м. Реконструйовано диференційований характер неотектонічних рухів та зміну їхньої активності в часі. Підтверджено, що північні райони регіону мали активну висхідну динаміку рухів у неогенову епоху, а південні – у четвертинному періоді. Отримані дані можуть служити основою для аналізу впливу тектонічних процесів на активізацію небезпечних геологічних процесів у межах Київського і Канівського Придніпров'я та прогнозу їхнього розвитку в майбутньому.

Список використаних джерел

- Іванік, О.М., Тустановська, Л.В. (2011). Застосування класичних методик структурно-морфометричного аналізу для реконструкції новітнього тектогенезу на основі ГІС. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 53, 4–7.
- Мироненко, В.І. (2007). Использование морфометрических методов анализа рельефа дневной поверхности для изучения неотектонических движений в нефтегазоносных регионах (на примере Сребенской впадины ДДВ и ее обрамления). *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 252–258.
- Николаев, Н.І. (1962). Неотектоника и ее выражение в структуре и рельефе территории СССР. М.: Недра.
- Палиенко, В.П. (1992). Новейшая геодинамика и ее отражение в рельефе Украины. К.: Наук. думка.

V. Shevchuk, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,
E-mail: svgeol44@gmail.com;
L. Tustanovska, PhD (Geol.),
E-mail: ljume4@ukr.net;
D. Kravchenko, PhD (Geol.), 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

NEWEST GEODYNAMICS RECONSTRUCTION OF THE MIDDLE DNIEPER REGION AND ITS MANIFESTATIONS IN THE RELIEF

Based on a comprehensive structural-morphometric analysis, Earth remote sensing data and GIS analysis, the evolution of the paleorelief of the right bank of the Middle Dnieper in the recent period is reconstructed. Based on the stepwise morphostructural-neotectonic analysis, morphodynamic and evolutionary trends in the landscape relief of this region are traced. Three morphostructures (Kyiv, Obukhiv, Kanevskaya-Trakhtemirovsky blocks) were identified and characterized. Quantitative indicators of the relief were determined during each stage, and the total oscillation amplitudes were analyzed both over short time intervals and for the entire Neogene-Quaternary period. On the whole, the amplitude of fluctuations in the elevations of the relief of the Middle Dnieper in the Neogene-Quaternary period in the northern part was 100 m, in the southern – 135 m. The differentiated nature of neotectonic movements and the change in their activity over time were reconstructed. It was confirmed that the northern regions of the region had an active upward dynamics of movements in the Neogene era, and the southern ones in the Quaternary. The modern stage marks the opposite phenomenon – the north-eastern regions rise again and the south-western ones fall. The obtained data can serve as a basis for analyzing the influence of tectonic movements on the activation of dangerous geological processes within the Middle Dnieper and forecasting their development in the future.

Keywords: structural-morphometric analysis, leveling surface, base surface, neotectogenesis, morphogenesis, tectonic movements, geodynamics.

В. Шевчук, д-р геол.-минералог. наук, проф.,
E-mail: svgeol44@gmail.com;
Л. Тустановская, канд. геол. наук,
E-mail: ljume4@ukr.net;
Д. Кравченко, канд. геол. наук,
E-mail: dm.vl.kravchenko@gmail.com;
К. Гадяцкая, инж.,
E-mail: katkravchuk@gmail.com;
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина

РЕКОНСТРУКЦИЯ НОВЕЙШЕЙ ГЕОДИНАМИКИ СРЕДНЕГО ПРИДНЕПРОВЬЯ И ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В РЕЛЬЕФЕ

На основе комплексного структурно-морфометрического анализа, данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-анализа реконструировано эволюцию палеорельефа правого берега Среднего Приднестровья в новейший период. На основе постадийного морфо-структурно-неотектонического анализа прослежено морфодинамический и эволюционный тренд рельефообразования этого региона. Выделены и охарактеризованы три морфоструктуры (Киевский, Обуховский, Каневско-Трахтемировский блоки). Определены количественные показатели рельефа в течение каждой стадии, проанализированы суммарные амплитуды колебаний как на протяжении коротких интервалов времени, так и за весь неоген-четвертинный период. В целом амплитуда колебаний высот рельефа Среднего Приднестровья в неоген-четвертинный период в северной части составила 100 м, в южной – 135 м. Реконструирован дифференцированный характер неотектонических движений и изменение их активности во времени. Подтверждено, что северные районы региона имели активную восходящую динамику движений в неогеновую эпоху, а южные – в четвертинном периоде. Современный этап характеризуется обратной тенденцией – снова поднимаются северо-восточные районы и опускаются юго-западные. Полученные данные могут служить основой для анализа влияния тектонических движений на активизацию опасных геологических процессов в пределах Среднего Приднестровья и прогноза их развития в будущем.

Ключевые слова: структурно-морфометрический анализ, поверхность выравнивания, базисная поверхность, неотектогенез, морфогенез, тектонические движения, геодинамика.

- Тустановская Л.В. (2014). Исследования зон новейших движений Среднего Приднестровья инструментами ГИС. *Международный научно-технический и производственный электронный журнал "Наука о Земле"*, 3, 18–27.
- Философов, В.П. (1975). Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов.
- 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. doi:10.12911/22998993/102964

References

- 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. doi:10.12911/22998993/102964
- Ivanik, O., Tustanovska L. (2011). Application of classical methods of structural-morphometric analysis for reconstruction of modern GIS-based tectogenesis. *Visnyk of Taras Shevchenko national university of Kyiv. Geology*, 53, 4–7. [in Ukrainian]
- Mironenko, V.I. (2007). The use of morphometric methods of analysis of the daytime surface relief for the study of neotectonic movements in oil and gas regions (on the example of the Srebensk depression of the VAT and its framing). *Theoretical and applied aspects of geoinformatics*, 252–258. [in Russian]
- Nikolaev, N.I. (1962). Neotectonics and its expression in the structure and relief of the USSR territory. M.: Nedra. [in Russian]
- Palienko, V.P. (1992). The latest geodynamics and its reflection in the relief of Ukraine. K.: Naukova dumka. [in Russian]
- Philosophov, V.P. (1975). Fundamentals of the morphometric method for the search for tectonic structures. Saratov. [in Russian]
- Tustanovska L. (2014). Studies of zones of the latest movements of the Middle Dnieper by GIS tools. *International scientific, technical and industrial electronic journal "Earth Science"*, 3, 18–27. [in Russian]

Надійшла до редколегії 14.03.20

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 55+551.22+552.3+552.163+550.8
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.03>

О. Митрохин, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: mitrokhin.a.v@ukr.net,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;
В. Бахмутов, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: bakhmutovvg@gmail.com,
Інститут геофізики ім. С.І. Субботина НАН України,
пр. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна;
Національний антарктичний науковий центр

ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА ТА ПЕТРОГРАФІЯ ОСТРОВІВ ВЕДЕЛЬ (АРХІПЕЛАГ ВІЛЬГЕЛЬМА, ЗАХІДНА АНТАРКТИКА)

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

Островами Ведель (Vedel Islands) зють невелику острівну групу з архіпелагу Вільгельма, що розташовується в акваторії Берега Грея Антарктичного півострова на відстані 12 км від Української антарктичної станції "Академік Вернадський". До останнього часу ці острови були "білою плямою" на всіх існуючих геологічних картах. У 2019 р. під час сезонних робіт 24-ї Української антарктичної експедиції автори вперше провели польові геологічні дослідження на островах Ведель. Метою виконаної геологічної зйомки були рекогносцировка та великомасштабне геологічне картування. Подальша обробка зібраних матеріалів дозволила скласти попередню геологічну карту та супровідний геолого-петрографічний опис островів Ведель. У результаті було отримано загальне уявлення про геологічну будову досліджуваної території, а також зібрано попередні дані про умови залягання, геологічний вік, петрографічні особливості та потенційну рудоносність місцевих гірських порід. Уперше з'ясовано, що в геологічній будові островів Ведель беруть участь різновікові інтрузивно-магматичні утворення. Найбільш розповсюдженими серед них є плутонічні породи середнього складу – діорити та кварцові діорити. Менш поширені габроїди та тоналіти. Найменш розповсюдженими є гіпабісальні та субвулканічні дайкові породи – мікродіорити та діабазы. Плутонічні породи були сформовані щонайменше в три інтрузивні фази з гомодромним порядком укорінення. Найдавніші серед них – габроїди, для яких, за аналогією з петрографічно схожими породами розшарованої габроїдної інтрузії Туксен-Расмусен (ГТР), припускається ранньокрейдовий час формування. Наймолодшими плутонічними утвореннями на островах Ведель є тоналіти. Припускається, що їхнє формування на глибинному рівні відбувалося в пізньокрейдовому періоді, а тектонічна "ексгумація" та остаточне ерозійне розкриття тривали в палеогені та завершилися в неогені. У процесі "ексгумації" плутонічні породи були інтродувані гіпабісальними дайками мікродіоритів. Натомість субвулканічні дайки діабазів, які мали інтродувати тоналіти островів Ведель уже після їхнього повного ерозійного розкриття, можуть мати неогеновий або й четвертинний вік. Подібно до ГТР та інших розшарованих габроїдних інтрузій архіпелагу Вільгельма габроїди островів Ведель містять залізо-титанову оксидно-рудну та мідно-сілікатну мінералізацію, що потребує подальшого вивчення. Вік, походження та мінералого-петрографічні особливості жил аліт-пегматоїдних гранітів, які інтродують габроїди та діорити, також вимагають додаткових досліджень.

Ключові слова: Антарктичний півострів, Берег Грея, архіпелаг Вільгельма, геологія, петрографія.

Вступ. Острови Ведель (Vedel Islands) – острівна група з архіпелагу Вільгельма, яка розташована на відстані 12 км від Аргентинських островів і розміщеної на них Української антарктичної станції "Академік Вернадський" (УАС). До останнього часу острови Ведель являли своєрідну "білу пляму" на всіх існуючих геологічних картах. Віддалені від материкового узбережжя та інших островів, відкриті для штормових вітрів із заходу та півдня, острови Ведель укрив рідко відвідуються людьми. Тим не менше, у 2019 р. під час сезонних робіт 24-ї Української антарктичної експедиції авторам удалося висадитися на островах Ведель і виконати перші геологічні дослідження на їхній території. Зібрані матеріали та результати їхньої подальшої обробки були покладені в основу даної публікації. Роботи виконувалися за сприяння Національного антарктичного наукового центру України в рамках Державної цільової науково-технічної програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011–2020 роки.

Огляд попередніх публікацій та картографічних матеріалів. Вважається, що найбільший з островів Ведель був відкритий у 1873–1874 рр. Німецькою антарктичною експедицією під керівництвом Е. Даллманна, який дав йому найменування Friedburg Insel (*Hattersley-Smith and Phil*, 1991). Чи висаджувалися члени цієї експедиції на відкритому ними острові – невідомо. У 1898 р. під час Бельгійської антарктичної експедиції під керівництвом А. Герлаша цей район був грубо нанесений на географічну карту (*Gerlach*, 1898). На ній вся острівна група Ведель помилково намальована як один острів. Саме він отримав найменування le Vedel, напевно на честь одного зі спонсорів експедиції. Тримавши курс на

південь, судно А. Герлаша навіть не наближалось до островів побачених з відстані 6 км. У 1904 р. острови Ведель були більш точно закартовані Французькою антарктичною експедицією під керівництвом Ж.Б. Шарко. Щоправда, на петрографічній карті, складеній геологом цієї експедиції Е. Гурдоном, нанесені лише зовнішні обриси островів Ведель без жодної геологічної інформації (*Gourdon*, 1908). Нема про них згадки і в супровідному петрографічному нарисі. Аерофотозйомка, яка була виконана FIDASE в 1956 р., лягла в основу навігаційних гідрографічних карт цієї території. Натомість виконана в 1963 р. геологічна зйомка Берега Грея не зачепила досліджувані острови (рис. 1). Хоч у петрографічному нарисі виконавця цієї зйомки (Р. Куртіс) є згадка про один зразок "тоналіту" з островів Ведель (*Curtis*, 1966). Практично це єдиний факт, що може свідчити про здійснену висадку на якийсь із зазначених островів.

Фактичний матеріал, організація та методологія досліджень. Перед польовими роботами авторами було проведено попереднє дешифрування космоснімків по території островів Ведель та їхньому оточенню. Оптимальними для застосування виявилися космоснімки Google Earth з датою зйомки 26.01.04. Їхнє дешифрування дозволило з'ясувати особливості взаємного розташування окремих островів, їхню конфігурацію та рельєф, стан снігово-льодовикового покриву, загальну відслоненість і деякі геологічні характеристики найбільших відслонень. 8 лютого 2019 р. була здійснена перша висадка на острів з координатами 65°7'52,2"S та 64°13'46,6"W, який надалі фігурує під найменуванням Ведель-V. Виконаний рекогносцирувальний маршрут дав перші уявлення про геологію цього острова. Крім

того, з найвищої точки острова було виконано візуальний огляд усієї острівної групи та проток між ними. 12 березня на о. Фрайдберг (Ведель-I) був установлений польовий наметовий табір, з якого проводилися подальші геологічні маршрути. Транспортним засобом при обстеженні району робіт і висадках на узбережжя служив малий моторний човен "Зодіак", який разом з іншим спорядженням був доставлений у розібраному вигляді на великому транспортному "Зодіаку". Маршрутна геологічна зйомка та опис відслонень виконувались О. Митрохіним і В. Бахмутовим, керівництво "Зодіаком" і радіозв'язок з УАС – Р. Братчиком. Геологічні маршрути, опорні точки спостережень і додаткова інформація винесені на схематичну карту фактичних матеріалів (рис. 2)

та у супровідну таблицю (табл. 1). Подальші петрографічні дослідження зібраних зразків гірських порід і мікроскопічний опис шліфів виконано О. Митрохіним. У результаті всіх проведених робіт були створені попередня геологічна карта островів Ведель (рис. 3) і супровідний геолого-петрографічний опис до неї.

Метою виконаних досліджень було з'ясування особливостей геологічної будови островів Ведель, з'ясування умов залягання та петрографічного складу місцевих гірських порід, створення великомасштабної геологічної карти досліджуваної території.

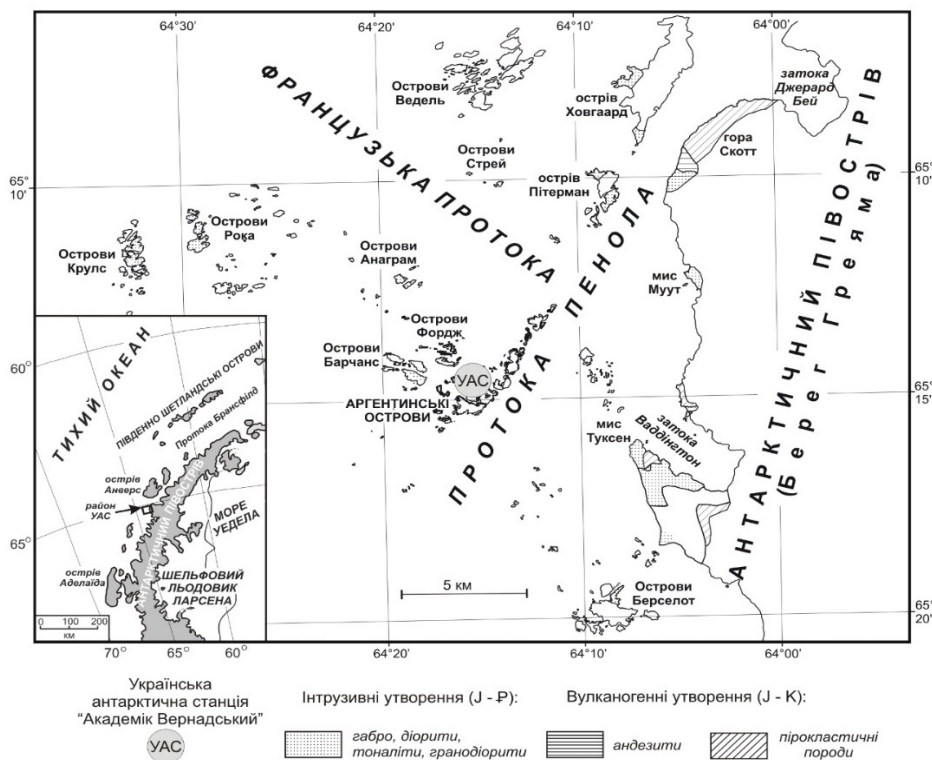


Рис. 1. Схема геологічної будови архіпелагу Вільгельма та прилеглого узбережжя Антарктичного півострова в районі Української антарктичної станції "Академік Вернадський". Складена за матеріалами (Curis, 1966)

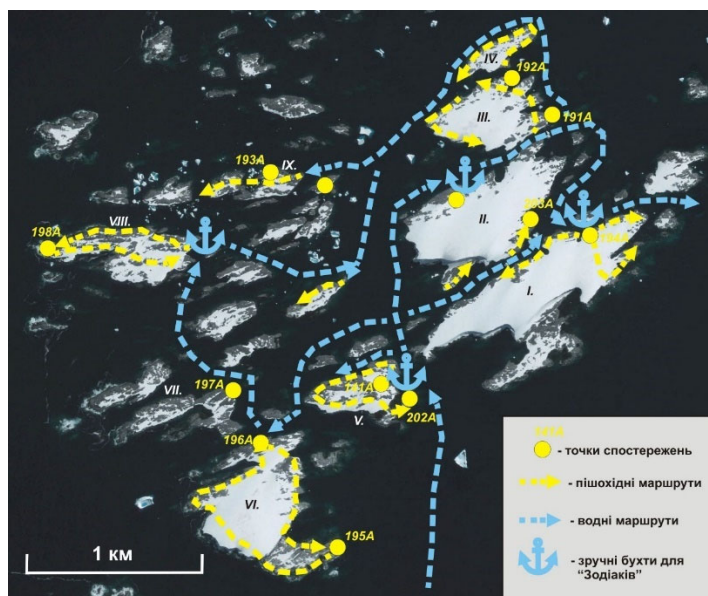


Рис. 2. Космознімок Google Earth з картою фактичних матеріалів, отриманих у результаті геологічної зйомки островів Ведель у 2019 році

Таблиця 1

Характеристика опорних геологічних відслонень на островах Ведель

Точки спостережень	Координати	Географічне положення	Геологічна характеристика
141A	65°7'52,2" S 64°13'46,6" W	о. Ведель-V	Діорити з такситовою текстурою, обумовленою наявністю мафічних включень
191A	65°7'1,5" S 64°12'31,8" W	о. Ведель-III	Діорити з такситовою текстурою, обумовленою наявністю мафічних включень
192A	65°6'54,3" S 64°12'49,3" W	о. Ведель-III	Діорити з паралельно орієнтованими мафічними включеннями
193A	65°7'12,7" S 64°14'44,0" W	о. Ведель-IX	Мезократові діорити, які візуально схожі з габроїдами
194A	65°7'24,7" S 64°12'18,1" W	о. Фрайдберг	Масивні габроїди, які перетинаються жилами апліт-пегматитовидних гранітів
195A	65°8'23,7" S 64°14'15,3" W	о. Ведель-VI	Тоналіти, які перетинаються роєм субпаралельних мафічних дайок
196A	65°8'5,0" S 64°14'50,1" W	о. Ведель-VI	Діорити, які перетинаються тоналітовою жилою
197A	65°7'55,1" S 64°14'59,6" W	о. Ведель-VII	Мезократові діорити, які візуально схожі з габроїдами
198A	65°7'29,2" S 64°16'25,2" W	о. Ведель-VIII	Мезократові діорити, які перетинаються апліт-пегматитовидною жилою
202A	65°7'56,0" S 64°13'41,5" W	о. Ведель-V	Габроїди з блоково-шаруватою будовою, рудопрояви магнетиту та хризосоли
203A	65°7'27,5" S 64°12'49,0" W	о. Ведель-II	Масивні габроїди, які є подібними до описуваних на точці спостереження № 194

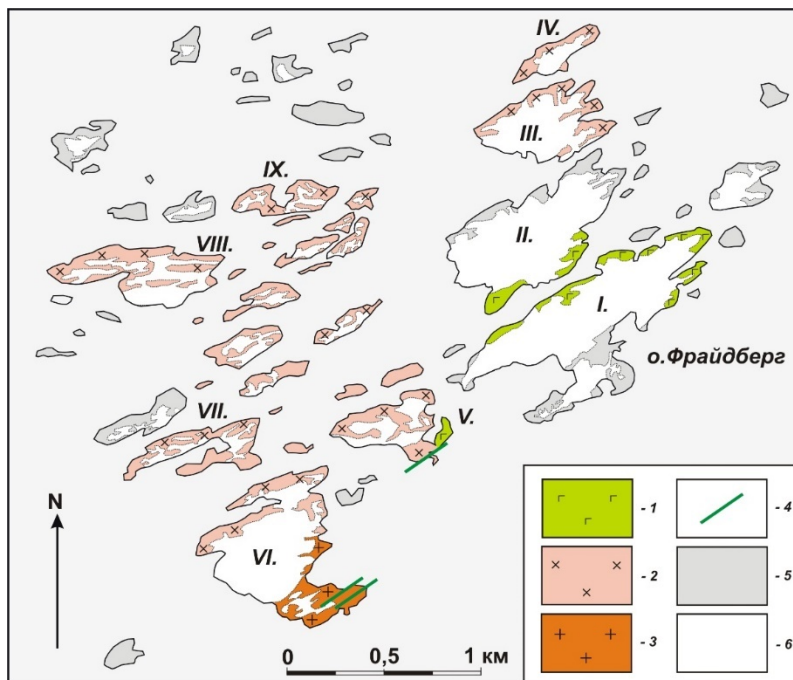


Рис. 3. Схематична геологічна карта островів Ведель.

Умовні позначення: 1 – габроїди; 2 – діорити та кварцові діорити; 3 – тоналіти; 4 – мафічні дайки; 5 – неідентифіковані виходи інтрузивних порід; 6 – сніговий та льодовиковий покрив.

Карта, складена О.В. Митрохином за даними польових досліджень 2019 р і результатами дешифрування космознімків Google Earth за 26.01.04

Фізико-географічний нарис островів Ведель. Острівна група Ведель належить до архіпелагу Вільгельма, розташованого в морі Белінсгаузена біля Берега Греяма (Graham Coast) Антарктичного півострова. Острови Ведель розташовані в 5 км західніше о. Ховгард – другого за розміром в архіпелазі Вільгельма. Ще далі на захід від них розкидані острови Міріад, дещо північніше – острови Данебруг. Від розташованих на південь Аргентинських островів острови Ведель відділяються Французькою протокою. Найбільший в описуваній острівній групі о. Фрайдберг має географічні координати 65°7'40"S та 64°13'2"W. Його розміри становлять 0,6*1,6 км. Інші численні острови та окремі морські скелі розкидані на площі

3*7 км. Їхні розміри не перевищують 1 км в довжину, звичайно – набагато менше. Більшість островів мають помітно видовжену форму та орієнтовані в північно-східному напрямку (рис. 4). Таку ж орієнтацію мають головні протоки між островами, а також виразні лінійні затоки та протяжні миси, що надають островам доволі звивистої конфігурації. Відносно похилий корінний рельєф на найбільших островах ускладнюється льодовиковими куполами висотою до 20–30 м над рівнем моря. Північні схили льодовиків є доволі похилими, південні зазвичай закінчуються протяжними стрімкими урвищами. Місцями і корінні виходи можуть стрімко підвищуватись над береговою лінією на висоту 3–5 м. Загалом близько 20 % від площі досліджених островів вільні від постійного снігово-

льодового покриву, а протяжність окремих відслонених ділянок сягає перших сотень метрів. У більшості своїй – це заглажені льодовиком пласкі виходи, розчленовані на блоки густою сіткою тектонічних тріщин. На великих островах корінні відслонення тяжіють до узбережжя, на малих – можуть охоплювати майже всю площу острова. Пухкі валунно-галькові відклади розвинені лише подекуди на узбережжях напівзакритих заток. Причому більшість уламкового матеріалу представлена місцевими

гірськими породами, хоч зустрічаються й ератичні валуни. Точна інформація про глибину моря навколо островів Ведель та у протоках між ними наразі відсутня. Аналіз навігаційних гідрографічних карт виявляє, що ця острівна група розташована в межах протяжного підняття морського дна з численними локальними мілинами та підводним камінням. Вірогідним продовженням цього підняття на півночі може бути ще більша за площею острівна група Данеброд.

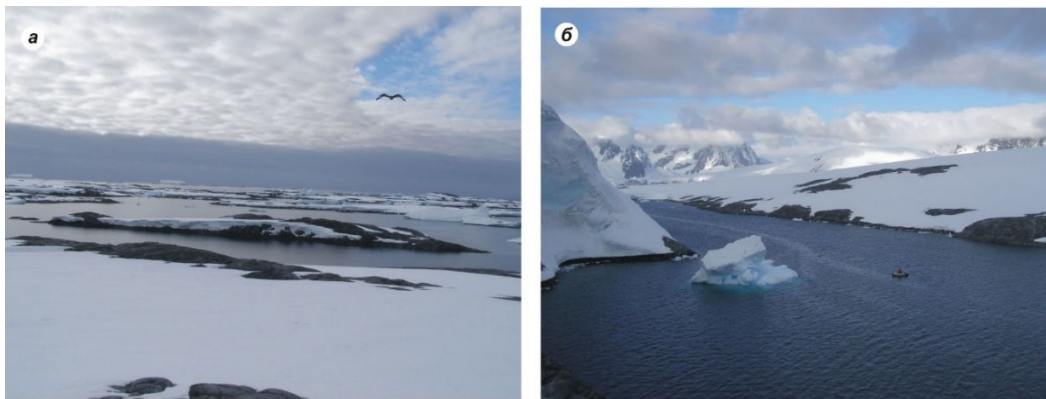


Рис. 4. Рельєф і снігово-льодовиковий покрив островів Ведель:

а – невеликі островці в центральній частині острівної групи, а також головні протоки між ними, витягнені в північно-східному напрямку, вид на північний захід з о. Ведель-V; б – відносно похиле північне узбережжя о. Фрайдберг (у правій частині фото) лише частково вкрите снігово-льодовим покривом, на відміну від південного узбережжя о. Ведель-II (у лівій частині фото), де височіє стрімкий льодовиковий купол

Особливості геологічної будови островів Ведель.

Проведені дослідження засвідчили, що острови Ведель складаються різновіковими інтрузивно-магматичними утвореннями. Найдавнішими серед них є плутонічні породи габроїдного складу. Значні площі розповсюдження габроїдів виявлені на північному узбережжі найбільшого в острівній групі о. Фрайдберг. Їхні похилі заглажені виходи, які поступово підвищуються при віддаленні від узбережжя на висоту до 4–5 м, майже безперервно простежуються вздовж берегової лінії починаючи від крайнього північно-східного мису в напрямку на південний захід на відстань не менше 600 м. Подальшим продовженням цього ж масиву габроїдів, напевно, є їхні виходи, які виявлені авторами на о. Ведель-II, розташованому через вузьку протоку північніше о. Фрайдберг. У районі польового табору сезонного геологічного загону 24-ї УАЕ в межах точки спостереження № 194 габроїди представлені масивними середньозернистими габроноритами. Це темні явнокристалічні породи мезократового складу, які на змінених поверхнях світлішають виявляючи субофітову структуру. Габроїди розбиті субвертикальними тріщинами. Головна система тріщин орієнтована на північний схід з азимутами простягання 55–57°. У багатьох місцях габроїди перетинаються світло-сірими гранітоїдними жилами. Їхній петрографічний склад представлений аплітовидними гранітами та гранітними пегматитами. Потужності жил варіюють від 5–10 мм до 20–50 см. Деякі мають зональну будову з аплітоподібними зальбандами та пегматоїдною внутрішньою частиною. Дещо інший петрографічний тип являють габроїди, які відслонюються на південно-східному узбережжі о. Ведель-V, розташованому західніше о. Фрайдберг. Похилі виходи габроїдів утворюють тут пальцеподібний мис, що простягається в північно-східному напрямку на відстань більше 150 м, поступово вигинаючись на північ (рис. 5).

Характерною особливістю місцевих гірських порід є незвичайна блоково-шарувата будова. Так, у районі точки спостереження № 202А можна побачити чергування габроїдних ділянок розміром від перших метрів до перших

десятьків метрів, що мають шарувату або блоково-шарувату будову. Ділянки із шаруватою текстурою складаються з габроїдних шарів потужністю від 2–4 мм до 2–10 см, що різняться кількісними співвідношеннями мафічних і салічних мінералів. Переважні шари дрібно-середньозернистого мезократового габронориту перешаровуються з підпорядкованими лейкократовими та меланократовими. У меланократових шарах фіксуються рудні концентрації титаномагнетиту (більше 10 %), на що вказують аномально високі величини магнітної сприйнятливості ($> 0,1$ од. SI). Окремі шари габроїдів можуть простежуватись на відстань до 2–5 м. Будь-якої впорядкованості у просторовій орієнтації шаруватості на сусідніх ділянках не виявлено. Разом із паралельною шаруватістю достатньо часто присутня коса та перехресна, а також складки сковзання. Зустрічаються ділянки шаруватого габронориту, у межах яких шаруватість ускладнюється поперечно-тичкуватою текстурою. У ній окремі стовпчасті кристали мафічних мінералів та їхні паралельно променисті агрегати орієнтуються перпендикулярно до границь шарів. Ділянки з блоково-шаруватою будовою характеризуються присутністю великих гострокутних блоків шаруватих габроїдів, занурених у більш однорідний габроїдний (можливо – мезократовий діоритовий) матрикс. Розмір таких блоків коливається від 30–40 см до 1,0–1,5 м, форма може бути сплющеною або ж неправильно-ізометричною. Привертають увагу блоки, у яких шаруватість зігнута в правильні складки. У деяких з них спостерігається лише аркоподібна замкова частина складки, що різко уривається на крилах. Виявлено ділянки початкової фрагментації шаруватих габроїдів, де блокова будова характеризується лише незначним зміщенням блоків від їхнього початкового положення. Усі описувані виходи габроїдів о. Ведель-V перетинаються трьома системами стрімких тріщин: 1) північно-східною $A_{np} = 230–232^\circ$; 2) північно-західною $A_{np} = 335–338^\circ$; 3) субширотною $A_{np} = 83–85^\circ$. В одному місці в тріщинах і на поверхні виходів габроїдів розвинені вторинні плівки силікатів міді (хризосоли), що дає підстави для пошуків первинної мідної мінералізації.

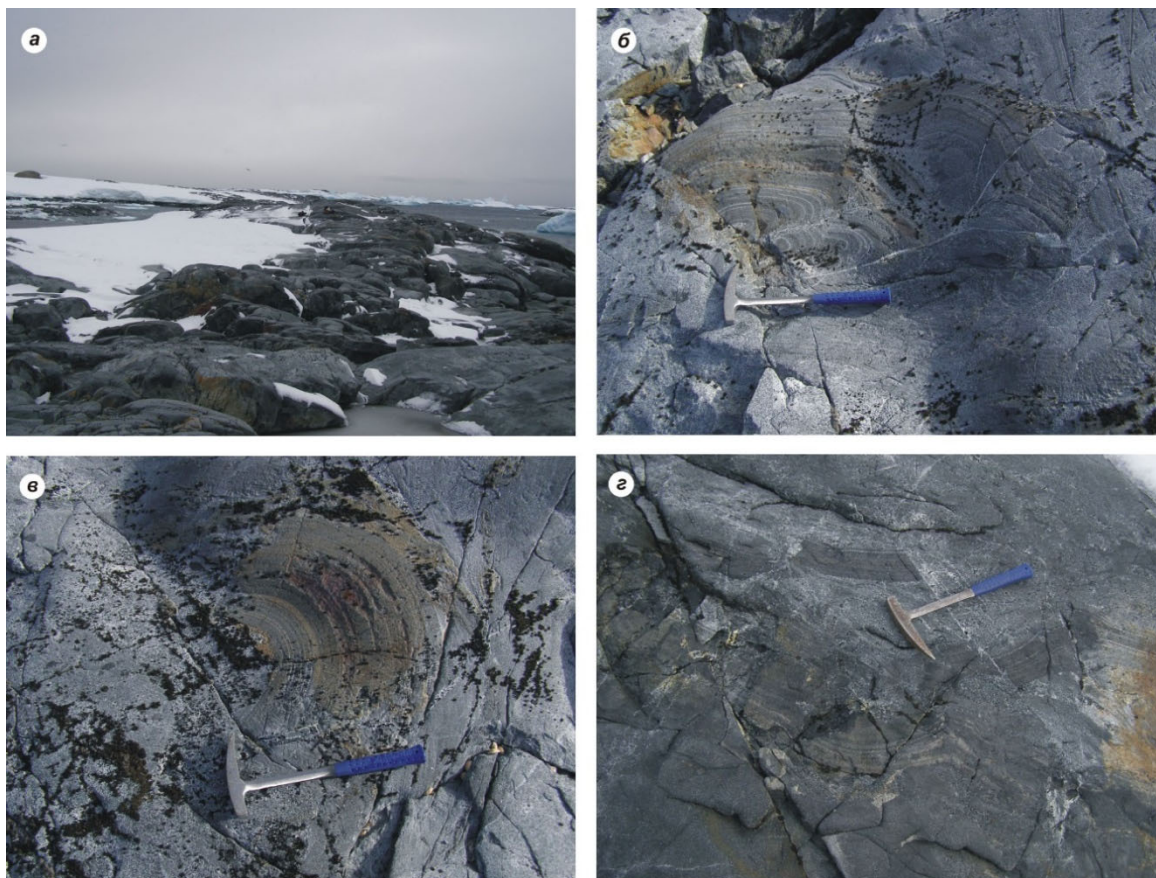


Рис. 5. Умови залягання габроїдів на о. Ведель-V, точка спостереження № 202A:

а – похилі виходи габроїдів утворюють пальцеподібний мис на південно-східному узбережжі острова;
б–г – блоково-шарувата будова габроїдів

У західному напрямку, біля основи описуваного пальцеподібного мису, габроїди змінюються більш лейкократовими плутонічними породами діоритового складу. Геологічні співвідношення вказують на дещо молодший вік діоритів відносно габроїдів. Так, в області їхнього імовірного контакту виявлено своєрідні перехідні породи – такситові габро-діорити. У середньозернистому мезократовому матриксі цих порід спостерігаються численні напівоплавлені включення більш темних дрібно-середньозернистих габроїдів розміром 1–10 см. На ділянках з найбільшою кількістю габроїдних включень утворюється еруптивна брекчія. З'ясовано, що діорити становлять більшу частину о. Ведель-V. Їхні найбільш типові представники відслонюються на північно-східному узбережжі острова. На точці спостереження № 141A протяжні виходи діоритів похило підвищуються над рівнем води на висоту 1,0–1,5 м. Це світло-сірі середньозернисті породи мезократового складу з явнокристалічною структурою та спорадичною такситовою текстурою, обумовленою присутністю мафічних включень. Виходи діоритів майже безперервно простежуються вздовж усього північного узбережжя острова на відстані близько 600 м. Ними ж складена і внутрішня, найбільш підвищена частина острова (рис. 6, а). У західній частині острова діорити перетинаються кількома зонами тектонічної тріщинуватості. Вони мають субширотну орієнтацію з $A_{пр} = 93-100^\circ$ і на ділянках найбільшої густоти тріщин надають діоритам "псевдощаруватої" гнейсоподібної будови.

Наразі можна зробити висновок, що діорити є найбільш розповсюдженими породами на території островів Ведель. Вони виявлені майже на всіх досліджених островах цієї групи. Щоправда, візуально їх не завжди можна відрізнити від габроїдів. Зокрема, дуже схожими на габроїди є темно-сірі діорити з островів Ведель-VII, VIII,

IX. Характерною особливістю діоритів, за якою їх можна ідентифікувати, є звичайна для них такситова будова. Остання обумовлена наявністю мафічних включень, що складаються більш темними дрібно- та середньозернистими породами габроїдного вигляду. Зазначені мафічні включення мають гострокутну або напівоплавлену форму та розміри 10–30 см. На о. Ведель-III у межах точки спостереження № 192A видовжені мафічні включення в діоритах виявляють субпаралельне орієнтування в північно-східному напрямку з $A_{пр} = 10^\circ$. Вочевидь, воно маркує орієнтацію площини течії діоритової магми. Щоправда, виміряти кут падіння цієї площини не вдалося. Дві системи субвертикальних тріщин на цьому відслоненні мають таку орієнтацію: 1) північно-східна $A_{пр} = 65^\circ$; 2) північно-західна $A_{пр} = 320^\circ$. Їхня несиметрична діагональна орієнтація відносно площини течії не дає підстав для інтерпретації цих тріщин як прояву прототектонічної тріщинуватості (P- чи S-типу), що виникає при застиганні інтрузивних тіл.

Геологічно молодшими за діорити є тоналіти, які виявлені лише на крайньому південно-західному острові (о. Ведель-VI) (рис. 6). На його північному узбережжі в межах точки спостереження № 196A тоналіти утворюють жилу, що інтродує середньозернисті мезократові діорити. Останні становлять усю північну частину острова. Жила тоналіту має потужність 50 см, північно-західне простягання з $A_{пр} = 345^\circ$ та північно-східне падіння з $A_{пд} = 75^\circ$ і кутом падіння 45° . Контакти жили із вмисними діоритами прямолінійні та різкі. Внутрішня будова жили демонструє певну асиметрію. Уздовж висячого ендоконтакту спостерігаються уривчасті виокремлення аплітоїдного граніту. В зоні лежачого контакту будь-які зміни відсутні. Описувана тоналітова жила орієнтується

вхрест до лінії узбережжя острова, що підпорядковується головній північно-східній системі тріщинуватості в діоритах. Значно більше тоналіти розповсюджені в південній частині о. Ведель-VI. Їхні похилі згладжені виходи тягнуться майже безперервною смугою по всій довжині крайнього південно-східного мису. Це середньозернисті лейкократові породи, які відрізняються від діоритів більш світлим забарвленням і помітно меншим вмістом мафічних мінералів. Крім того, для них характерний високий вміст кварцу. Подібно до діоритів тоналіти містять мафічні включення, але їхня кількість значно більша. Візуально серед мафічних включень розрізняються два типи. Дещо більш розповсюджені включення сірих середньозернистих діоритоподібних порід, можливо – змінених габроїдів. Менш розповсюджені включення темно-сірих

дрібнозернистих порід, схожих на вулканіти або роговики. Розміри мафічних включень коливаються в діапазоні від 2–10 см до 40 см. Дрібні включення звичайно оплавлені, їхня форма наближається до еліптичної, внутрішня будова є однорідною. Більші за розміром мафічні включення, як правило, мають менш правильну, напівоплавлену або гострокутну форму. Біля контакту із вмісним тоналітом у них спостерігається вузька зона з більш дрібнозернистою будовою. Внутрішня частина великих мафічних включень може мати порфіроподібну будову. Конфігурація узбережжя південно-східної частини острова та окремість тоналітів підпорядковуються двом системам тріщинуватості: 1) субвертикальній північно-східній з $A_{пр} = 55-65^\circ$; 2) північно-західній з $A_{пр} = 325^\circ$, $A_{пд} = 235^\circ$ та кутом падіння 75° .



Рис. 6. Умови залягання діоритів і тоналітів островів Ведель:

а – виходи діоритів у центральній частині о. Ведель-V, на задньому плані видно пальцеподібний мис, який складається габроїдами;
б – діорити інтрудуються жилою тоналіту, точка спостереження № 196А на північному узбережжі о. Ведель-VI;
в – мафічні включення у тоналітах, південно-східне узбережжя о. Ведель-VI; г – дайки діабазів інтрудують тоналіти, точка спостереження № 195А, мис на південно-східному узбережжі о. Ведель-VI

У багатьох місцях на островах Ведель діорити інтрудуються гранітоїдними жилами. Так, на крайньому західному мисі о. Ведель-VIII у діоритах залягає неправильна субвертикальна жила апліт-пегматоїдного граніту. Вона має мінливу потужність – 0,5–1,0 м і загальне широтне простягання з $A_{пр} = 90^\circ$. Жила орієнтується під гострим кутом до північно-східної системи тріщинуватості діоритів, що має $A_{пр} 75-80^\circ$.

Напевно, наймолодшим проявом інтрузивного магматизму на островах Ведель є мафічні дайки. На території о. Ведель-VI виявлений цілий рій мафічних дайок, що інтрудують тоналіти. Так, на точці спостереження № 195А тоналіти перетинаються щонайменше вісьмома субпаралельними мафічними дайками (рис. 6, г). Найбільша серед них складена порфіроподібним мікродіоритом. Вона має потужність 2,5 м, характеризується вертикальним заляганням з північно-східним простяганням, $A_{пр} = 50-$

55° . Контакти дайки із вмісним тоналітом є різкими прямолінійними. На окремих ділянках лінія контакту може мати ступінчасту конфігурацію. По обидва боки дайки спостерігаються ендоконтактові зони загартування, які складаються темно-сірою афанітовою породою. Місцями в ній присутні невеликі ксеноліти тоналіту. Невеликі дайки, які розташовані поруч з описуваною дайкою мікродіориту, складаються діабазами. Сама більша серед них має потужність 40 см, потужність менших коливається в діапазоні від 5 до 20 см. Простягання діабазових дайок північно-східне з $A_{пр} = 50-60^\circ$. Деякі дайки по простяганням виклинюються. Місцями спостерігається кулісоподібне розміщення сусідніх дайкових тіл. Найтонші дайки можуть виклинюватись в обидва боки. Ще декілька мафічних дайок північно-східного простягання інтрудують діорити на східному та південному узбережжях о. Ведель-V.

Петрографія островів Ведель. Петрографічне різноманіття досліджених зразків гірських порід охоплює інтрузивно-магматичні утворення плутонічної, гіпабісальної та субвулканічної фацій глибинності. Плутонічні породи включають габроїди, діорити та тоналіти. Серед гіпабісальних і субвулканічних порід розрізняються апліти, пегматити, мікродіорити та діабазы.

Габроїди представлені зонайменше двома петрографічними типами. Перший тип являють собою масивні середньозернисті габроїди о. Фрайдберг. Другий тип репрезентують дрібнозернисті шаруваті габроїди, які були виявлені на о. Ведель-V. Габроїди о. Фрайдберг у штуфах мають звичайне темно-сіре забарвлення та явнокристалічну середньозернисту структуру. Зерна сірого плагіоклазу, розміром 2–3 мм, становлять 55–60 % від об'єму породи. Більш темні зерна мафічних мінералів мають дещо менші розміри – 1–2 мм. Піроксени та амфіболи не відрізняються один від одного навіть за допомогою лупи. Натомість кількісно підпорядкований їм біотит легко ідентифікується завдяки лускатій формі зерен і більш сильному блиску на площинах досконалої спайності. У шліфах під поляризаційним мікроскопом цей тип габроїдів має гіпідіоморфнозернисту габро-офітову структуру. Призматичні зерна плагіоклазу виявляють частковий ідіоморфізм відносно мафічних мінералів. Його склад, An_{58-60} , який визначався вимірюванням згасання у розрізах, перпендикулярних [100], відповідає лабрадору. При великому збільшенні видно, що зерна плагіоклазу насичені мікроскопічними голчастими включеннями непрозорих мінералів. Рої таких включень орієнтовані вздовж певних кристалографічних напрямків у плагіоклазі і, вочевидь, мають ексолюційне походження. Імовірно, саме вони обумовлюють темне забарвлення плагіоклазів у штуфах. Дещо незвичайним як для габроїдів є присутність кварцу. Його ксеноморфні зерна кристалізувались між призматичними кристалами плагіоклазу, пристосовуючись до його обмежень. Зерна кварцу зазвичай мають нормальне згасання, їхні сусідні просторово розмежовані ділянки часто згасають одночасно. Серед мафічних мінералів домінують піроксени. Вони представлені як моноклінічними, так і ромбічними різновидами, що дозволяє застосовувати для досліджуваних габроїдів найменування *габронорити*. Більші за розміром неправильні зерна піроксенів виповнюють проміжки між плагіоклазами, утворюючи з ними субофітові зростання. Подекуди присутні кумулятивні скупчення дрібніших короткостовпчастих кристалів піроксену. Більшість піроксенових зерен по краях реакційно заміщуються зеленою роговою обманкою. У ромбічних піроксенів може бути проявлена нечітка ламелярна будова з тонкими пластинчастими ексолюціями монокліного піроксену, що орієнтуються вздовж подовження мінералу-хазяїна. Звичайним другорядним мінералом габроїдів є темно-коричневий біотит. У другорядних кількостях також присутні Fe-Ti оксидно-рудні мінерали, серед яких найбільш характерними є ізометричні мікрокристали титаномagnetиту. Акцесорна мінералізація представлена апатитом. Габроїди о. Ведель-V, крім особливостей будови, відрізняються від описаних вище значно більшими варіаціями вмісту головних породотвірних мінералів. Крім переважних мезократових різновидів, серед них зустрічаються й доволі меланократові

Діорити та кварцові діорити являють собою світло-сірі дрібно-плямисті або ж однорідно-сірі породи з явнокристалічною середньозернистою структурою. Світлість забарвлення варіює залежно від загального вмісту салічних мінералів і ступеня їхнього змінення. Найтемніші різновиди візуально схожі з габроїдами. Салічні мінерали становлять близько 55–75 %, серед них основний об'єм

займає плагіоклаз. Розмір зерен породотвірних мінералів у діоритах може коливатись від 1–2 до 3–5 мм. Причому найбільш лейкократові зразки зазвичай мають більшу зернистість. Кварц, незважаючи на те, що його вміст у кварцових діоритах може сягати 10–15 %, макроскопічно погано розрізняється на тлі плагіоклазу. Серед мафічних мінералів за допомогою лупи можна ідентифікувати неправильні зерна рогової обманки та лусочки біотиту. Шліфи діоритів під поляризаційним мікроскопом демонструють гіпідіоморфнозернисту структуру. Плагіоклаз виявляє частковий ідіоморфізм відносно всіх інших мінералів. Вимірювання згасання у розрізах, перпендикулярних [100], показало, що склад плагіоклазу (An_{37-58}) інколи виявлявся дещо більш кальцієвий, ніж має бути в діоритах. Місцями по плагіоклазу розвивається серицит. Ксеноморфні зерна кварцу присутні в усіх шліфах, у багатьох випадках їхній вміст перевищує 5 %. У двох зразках спостерігалася помітна кількість нездвійненого пертитового калішпату, що дало підстави застосовувати для цих зразків найменування монцодіорит. Виповнюючи проміжки між зернами плагіоклазу, калішпат кородував їх по периферії. Кількісні співвідношення рогової обманки та біотиту є непостійними. Зустрінуті як суттєво-амфіболові, так і суттєво-біотитові різновиди діоритів. Рогова обманка представлена зеленою відміною. Вона кристалізується у вигляді ксеноморфних зерен з пойкилітовими включеннями плагіоклазу, Fe-Ti, оксидно-рудних мінералів та апатиту. Подекуди всередині рогової обманки спостерігалися кородовані релікти монокліного піроксену. Сама рогова обманка може заміщуватись агрегатом актиноліту. Біотит забарвлений у темно-коричневий колір. Як і рогова обманка він кристалізується у вигляді ксеноморфних зерен з пойкилітовою будовою. Може частково заміщуватись блідо-зеленим хлоритом. В акцесорних кількостях діорити містять епідот, апатит, сфен і циркон.

Тоналіти візуально є помітно світлішими за діорити. Загальний тон забарвлення – біло-сірий. На ньому рівномірно розкидані невеликі темноколірні плями. Зразки тоналітів мають рівномірну середньозернисту структуру, але її кристалічність розрізняється гірше, ніж в описаних вище діоритах. Імовірно це пов'язано з постмагматичними змінами, що надають тьмяного вигляду мінеральним зернам. Основний об'єм породи становить матовобілий плагіоклаз. На його тлі погано розрізняються невеликі зерна дещо темнішого напівпрозорого кварцу розміром 1–2 мм. Неправильні темно-сірі плями розміром 2–3 мм являють собою дрібнокристалічні скупчення мафічних мінералів. У шліфах під поляризаційним мікроскопом тоналіти мають гіпідіоморфнозернисту структуру. Призматичні зерна плагіоклазу розміром 1,0–2,5 мм виявляють ідіоморфізм відносно кварцу. Його склад An_{40} відповідає андезину. У багатьох зернах помітна тонка зональність. Плагіоклаз різною мірою підлягає серицитизації та сосюритизації. Ксеноморфні зерна кварцу характеризуються блочним згасанням. Агрегатні скупчення мафічних мінералів складаються біотитом і роговою обманкою. Первинний коричневий біотит заміщується вторинним зеленим біотитом і хлоритом. Зелена рогова обманка заміщується кальцитом та епідотом. До скупчень мафічних мінералів тяжіє акцесорна мінералізація, яка представлена Fe-Ti оксидно-рудними мінералами, апатитом, сфеном і цирконом.

Дайка порфіроподібного мікродіориту складається зеленувато-сірою масивною породою з дрібно-середньозернистою порфіроподібною структурою. Її структурно-текстурні особливості дозволяють припускати гіпабісальні умови кристалізації. Кристалічність візуально погано розрізняється. Тим не менше, пришліфована поверхня

зразка виявляє дрібноплямисте забарвлення з більш світлими зернами плагіоклазу розміром менше 2 мм і більш темними виокремленнями мафічних мінералів. У шліфі зразок мікродіориту, який був відібраний із центральної частини дайки, має повнокристалічну нерівномірну призматично-зернисту структуру. Остання наближається до порфіроподібної, але різниця у розмірах фенокристів (2–3 мм) і зерен породотвірних мінералів у загальній масі (0,5–2 мм) є недостатньо різкою. Усі первинні мінерали мікродіориту тією чи іншою мірою підлягають постмагматичним змінам. Найбільші мікрофенокристи плагіоклазу заміщуються віялоподібними агрегатами преніту. Таблитчасті зерна плагіоклазу, які становлять загальну масу породи, неоднорідно підлягають серицитизації. Подовжено-призматичні виокремлення коричнево-зеленої рогової обманки також частково заміщуються актинолітом і кальцитом. Блідо-зелений мікролускатий хлорит кристалізується у міжзерновому просторі та у тріщинах, що перетинають мінеральні зерна. Характерними акцесорними мінералами мікродіориту є Fe-Ті оксиди, сфен та епідот. Зразок афанітової породи, який відбирався із зони загартування досліджуваної дайки мікродіориту, у шліфі виявляє більш різко виявлену порфірову структуру. Причому фенокристи орієнтуються паралельно лінії контакту із вмісним тоналітом, що надає породі флюїдальної будови. Серед фенокристів суттєво переважають ідіоморфні таблички плагіоклазу розміром 1–2 мм. Вони неоднорідно заміщуються лускатим агрегатом мусковіту. У багатьох випадках він утворює повні псевдоморфози. Хоча частина фенокристів плагіоклазу лишаються достатньо свіжими, виявляючи характерне полісинтетичне двійникування та зональне згасання. Вміст фенокристів плагіоклазу сягає 25 %. Крім них, трапляються одиничні фенокристи рогової обманки та магнетиту. Рогова обманка заміщується актинолітом, хлоритом, карбонатами та непрозорими мінералами. Загальна маса має прихованокристалічну структуру і, скоріше за все, складається з продуктів девіттрифікації вулканічного скла. Серед них ідентифікуються плагіоклаз, карбонати та непрозорі мінерали.

Дайкові породи діабазового складу відрізняються від описаного вище мікродіориту більш темним зеленуватим забарвленням і гіршою кристалічністю. Їхня структура є афанітовою, або мікрокристалічною. Загалом структурно-текстурні особливості цих порід свідчать про субвулканічний рівень їхньої кристалізації. Досліджуваний зразок діабазу був відібраний із центральної частини дайки потужністю 40 см. На його пришліфованій поверхні в щільній загальній масі ледь помітні більш світлі мікрофенокристи плагіоклазу, розмір яких не перевищує 1 мм. У шліфі діабазу виявив флюїдальну текстуру та мікропорфірову структуру з мікролитою загальною масою. Лейстоподібні мікрофенокристи плагіоклазу розміром 0,3–0,4 мм мають субпаралельну орієнтацію, що ускладнюється локальними завихреннями. За розміром вони не різко відрізняються від мікролітів у загальній масі. Внутрішня будова мікрофенокристів однорідна, без зональності та вторинних змін. Мікрофенокристи мафічних мінералів повністю заміщені дрібнокристалічним агрегатом променистих амфіболів, кальциту та епідоту. При цьому такі псевдоморфози зазвичай зберігають ідіоморфну коротко-стовпчасту форму первинного піроксену. У загальній масі діабазу розрізняються безладно-орієнтовані мікроліти плагіоклазу та рогової обманки розміром 0,1–0,3 мм, а також мікрокристалічна вкрапленість магнетиту.

Обговорення отриманих результатів. Головним результатом виконаних досліджень стало створення попередньої геологічної карти та супровідного геолого-петрографічного опису островів Ведель. Незважаючи на розріджену сітку опорних відслонень, авторам удалося забезпечити безперервність маршрутних спостережень

на найбільших островах цієї групи. У результаті було отримано загальне уявлення про геологічну будову та петрографію досліджуваної території, а також попередні дані про геологічний вік, умови залягання, речовинний склад і потенційну рудоносність місцевих гірських порід.

Зокрема, уперше з'ясовано, що в геологічній будові островів Ведель беруть участь різновікові інтрузивно-магматичні утворення. Найбільш розповсюдженими серед них є плутонічні породи середнього складу – діорити та кварцові діорити. Менш поширені – габроїди та тоналіти. Найменш розповсюдженими є гіпабісальні та субвулканічні дайкові породи – апліт-пегматоїдні граніти, мікродіорити та діабазы.

Плутонічні породи були сформовані щонайменше в три інтрузивні фази з гомодромним порядком укорінення: габроїди – діорити – тоналіти. Габроїди, які є найдавнішими інтрузивними утвореннями островів Ведель, петрографічно подібні до раніш описаних авторами на о. Пітерман (*Митрохин та ін., 2018*), що розташовується у 5 км на південний схід від досліджуваної території. Головна відмінність – значно менша інтенсивність метаморфічних перетворень габроїдів з островів Ведель. Можна припустити, що метаморфізм габроїдних інтрузій архіпелагу Вільгельма не мав наскрізного регіонального характеру. Швидше за все, найбільша інтенсивність метаморфічних перетворень властива для габроїдних тіл локалізованих в області впливу регіональних тектонічних порушень, сформованих під час останніх орогенічних подій у регіоні (Андського орогенезу). Так, габроїдна інтрузія о. Пітерман приурочена до регіональної розломної зони Пенола-Лемаер. Значно більшу петрографічну подібність до габроїдів островів Ведель демонструють гірські породи з розташованої на узбережжі Антарктичного півострова габроїдної інтрузії Туксен-Расмусен (ГІТР). Геологічний вік останньої автори визначили як ранньокрейдовий (*Mytrokhyn et al., 2017*). Попередньо такий вік формування можна припускати і для габроїдів островів Ведель. Подібно до ГІТР та інших розшарованих габроїдних інтрузій архіпелагу Вільгельма габроїди островів Ведель містять первинну залізо-титанову оксидно-рудну та вторинну мідно-силікатну мінералізацію, яка потребує подальшого вивчення.

Найближчим петрографічним аналогом тоналітів з островів Ведель є гранітоїди острова Пітерман. Пізньокрейдовий вік їхньої кристалізації (96 ± 1 млн років тому), який був визначений методом U-Pb ізотопного датування за цирконами (*Бахмутов та ін., 2013*), можна попередньо прийняти як найбільш вірогідний і для тоналітів з островів Ведель. Так само неогеновий вік (11 млн років тому) тектонічної "ексгумації" гранітоїдів о. Пітерман, який був отриманий за результатами термометричних досліджень (*Guenther et al., 2010*), можна екстраполювати і на тоналіти з островів Ведель. Виходячи з цього, дайка мікродіориту, яка інтродувала зазначені тоналіти на гіпабісальному рівні глибинності, могла бути сформованою в часовому інтервалі між повною закристалізацією вмісних тоналітів та їхньою тектонічною ексгумацією, тобто або у верхньокрейдовому, або в палеогеновому періоді. Натомість субвулканічні дайки діабазів, які мали інтродувати тоналіти островів Ведель уже після їхньої повної ексгумації, можуть мати неогеновий і навіть четвертинний вік. Вік, походження та мінералого-петрографічні особливості жил апліт-пегматоїдних гранітів, які інтродують габроїди та діорити, вимагають додаткових досліджень.

Висновки

1. У геологічній будові островів Ведель беруть участь різновікові інтрузивно-магматичні утворення. Серед них найбільшим розповсюдженням користуються діорити та кварцові діорити, менш поширені габроїди та тоналіти,

найменш розповсюдженими є апліт-пегматоїдні граніти, мікродіорити та діабазы.

2. Плутонічні породи островів Ведель були сформовані щонайменше в три інтрузивні фази з гомодромним порядком укорінення. Найдавнішими серед них є габроїди, для яких припускається ранньокрейдовий час. Наймолодші плутонічні утворення островів Ведель – тоналіти, глибинне формування яких відбувалося в пізньокрейдовому періоді, а тектонічна "ексгумація" та остаточне ерозійне розкриття тривали в палеогені та завершилися в неогені.

3. У процесі "ексгумації" плутонічні породи були інтродовані гіпобазальними дайками мікродіоритів. Натомість, субвулканічні дайки діабазів, які мали інтродувати тоналіти островів Ведель уже після їхнього повного ерозійного розкриття, можуть мати неогеновий або й четвертинний вік.

4. Подібно до інших розшарованих габроїдних інтрузій архіпелагу Вільгельма, габроїди островів Ведель містять залізотитанову окисно-рудну та мідно-силікатну мінералізацію, що потребує подальшого вивчення. Вік, походження та мінералого-петрографічні особливості жил апліт-пегматоїдних гранітів, які інтродують габроїди та діорити, також вимагають додаткових досліджень.

Подяка. Авторі висловлюють свою щирі подяку керівництву Національного антарктичного наукового центру, зимівникам 23-УАЕ та сезонному загону 24-УАЕ за всебічну підтримку польових робіт. Значний внесок в організацію та проведення геологічних досліджень на островах Ведель зробили Р. Братчик, А. Руденко, В. Корж, Д. Корж, Д. Літвінов.

Список використаних джерел

- Бахмутов, В.Г., Гладкохуб, Д.П., Шпира, В.В. (2013). Возрастная позиция, геодинамическая специфика и палеомагнетизм интрузивных комплексов западного побережья Антарктического полуострова. *Геофизический журнал*, 35, 3, 3–30.
- Митрохин, О.В., Бахмутов, В.Г., Гаврилів, Л.І., Алексієнко А.Г. (2018). Геологічна будова острова Пітерман (Архіпелаг Вільгельма, Західна Антарктика). *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 1, 80, 7–15. doi.org/10.17721/1728-2713.80.01

O. Mytrokhyn, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: mitrokhin.a.v@ukr.net,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;
V. Bakhmutov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: bakhmutovvg@gmail.com,
Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine,
32 Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine,
National Antarctic Scientific Center

Curtis, R. (1966). The petrology of the Graham Coast, Graham Land. *British Antarctic Survey scientific reports*, 50, 51.

Gerlache de Gomery, A. (1904) The Belgian Antarctic expedition under the command of A. de Gerlache de Gomery. Summery report of the voyage of the "Belgica" in 1897–1899. Brussels.

Gourdon, I. (1908). Expedition Antartique Francaise (1903–1905) comande par le Jean Charcot, Geographie physiqui – Glaciologie, Petrographie. Paris.

Guenther, W.R., Barbeau, D.L., Reiners, P.W., Thomson, S.N. (2010). Slab window migration and terrane accretion preserved by low-temperature thermochronology of a magmatic arc, northern antarctic peninsula. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11, 3. doi:10.1029/2009GC002765.

Hattersley-Smith, G., Phil, D. (1991). The history of place-names in the British Antarctic Territory. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 113, 350.

Mytrokhyn, O.V., Bakhmutov, V.G., Aleksieienko, A.G., Gavryliv, L.I., Mytrokhina, T.V. (2017). Geological position and age of Tuxene-Rasmussen layered gabbroid intrusion (West Antarctica). *Український антарктичний журнал*, 16, 21–28.

References

- Bakhmutov, V.G., Gladkochub, D.P., Shpyra, V.V. (2013). The age, geodynamics and paleomagnetism of the intrusive complexes of West Antarctica. *Geophysical Journal*, 3, 3–30. [in Russian]
- Curtis, R. (1966). The petrology of the Graham Coast, Graham Land. *British Antarctic Survey scientific reports*, 50, 51.
- Gerlache de Gomery, A. (1904). The Belgian Antarctic expedition under the command of A. de Gerlache de Gomery. Summery report of the voyage of the "Belgica" in 1897–1899. Brussels.
- Gourdon, I. (1908). Expedition Antartique Francaise (1903–1905) comande par le Jean Charcot, Geographie physiqui – Glaciologie, Petrographie. Paris.
- Guenther, W.R., Barbeau, D.L., Reiners, P.W., Thomson, S.N. (2010). Slab window migration and terrane accretion preserved by low-temperature thermochronology of a magmatic arc, northern antarctic peninsula. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11, 3. doi:10.1029/2009GC002765.
- Hattersley-Smith, G., Phil, D. (1991). The history of place-names in the British Antarctic Territory. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, 113, 350.
- Mytrokhyn, O., Bakhmutov, V., Gavryliv, L., Aleksieienko, A. (2018). Geology of the Peterman Island (Wilhelm Archipelago, West Antarctica). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1, 80, 7–15. doi.org/10.17721/1728-2713.80.01 [in Ukrainian]
- Mytrokhyn, O.V., Bakhmutov, V.G., Aleksieienko, A.G., Gavryliv, L.I., Mytrokhina, T.V. (2017). Geological position and age of Tuxene-Rasmussen layered gabbroid intrusion (West Antarctica). *Ukrainian Antarctic Journal*, 16, 21–28.

Надійшла до редколегії 23.01.20

GEOLOGY AND PETROGRAPHY OF THE VEDEL ISLANDS (WILHELM ARCHIPELAGO, WEST ANTARCTICA)

The Vedel Islands are a small island group that is part of the Wilhelm archipelago in the West Antarctica. They are located near the Graham Coast of the Antarctic Peninsula at a distance of 12 km from Akademik Vernadsky Ukrainian Antarctic Station. Until recently, the Vedel Islands were a "white spot" on all existing geological maps. In 2019, during the seasonal work of the 24th Ukrainian Antarctic expedition, the authors first carried out field geological researches on the Vedel Islands. The main goal of the geological survey was reconnaissance and large-scale geological mapping. The general ideas about the geological structure of the study area were developed by further processing of the collected materials. The preliminary data about the mode of occurrence, the geological ages, the petrographic peculiarities and the ore potential of the local rocks were also obtained. It was first established that multiple-aged intrusive-magmatic formations take part in the geological structure of the Vedel Islands. The intermediate compositions of the plutonic rocks namely the diorites and quartz diorites are the most common among them. The gabbroids and the tonalites are less common. The least common ones are hypabyssal and subvolcanic dike rocks namely microdiorites and diabases. The plutonic rocks were formed in at least three intrusive phases with a homodromous order of their intrusions. The most ancient among them are gabbroids. The Early Cretaceous age for their formation is assumed by analogy with the petrographically similar rocks of the Tuxene-Rasmussen layered gabbroid intrusion (TRGI). The tonalites are the youngest plutonic rocks on the Vedel Islands. It is assumed that their formation at a deep level took place in the Late Cretaceous, although their tectonic exhumation and the final erosion outcropping occurred in the Paleogene and ended in the Neogene. In the process of the exhumation, the plutonic rocks were intruded by hypabyssal dikes of microdiorites. The youngest subvolcanic dike dykes intruded the tonalites supposedly after their complete erosion outcropping i. e. in Neogene or even Quaternary. Like TRGI and other layered gabbroid intrusions of the Wilhelm archipelago, the Vedel island gabbroids contain iron-titanium oxide-ore and copper-silicate mineralization, which requires further study. The additional researches are also needed to clarify the age, origin, petrography and mineralogy of the numerous veins of apite-pegmatoid granite which intrude gabbroids and diorites on the Vedel Islands.

Keywords: Antarctic Peninsula, Graham Coast, Wilhelm archipelago, geology, petrography.

А. Митрохин, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: mitrokhin.a.v@ukr.net,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина;
В. Бахмутов, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: bakhmutovvg@gmail.com,
Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины,
Пр. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина,
Национальный антарктический научный центр

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПЕТРОГРАФИЯ ОСТРОВОВ ВЕДЕЛЬ (АРХИПЕЛАГ ВИЛЬГЕЛЬМА, ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИКА)

Островами Ведель (Vedel Islands) называют небольшую островную группу из архипелага Вильгельма, расположенную в акватории Берега Грея Антарктического полуострова на расстоянии 12 км от Украинской антарктической станции "Академик Вернадский". До последнего времени острова Ведель были "белым пятном" на всех существующих геологических картах. В 2019 году во время сезонных работ 24-й Украинской антарктической экспедиции авторы впервые провели полевые геологические исследования на островах Ведель. Их целью были рекогносцировка и крупномасштабное геологическое картирование. Дальнейшая обработка собранных материалов позволила составить предварительную геологическую карту и сопровождающее геолого-петрографическое описание островов Ведель. В результате было получено общее представление о геологическом строении исследуемой территории, а также собраны предварительные данные об условиях залегания, геологическом возрасте, петрографических особенностях и потенциальной рудоносности местных горных пород. Впервые установлено, что в геологическом строении островов Ведель участвуют разновозрастные интрузивно-магматические образования. Среди них наиболее распространены плутонические породы среднего состава – диориты и кварцевые диориты. Меньшим распространением пользуются габброиды и тоналиты. Наименее распространены гипабиссальные и субвулканические дайковые породы – микродиориты и диабазы. Плутонические породы были сформированы как минимум в три интрузивные фазы с гомодромным порядком внедрения. Наиболее древние среди них – габброиды, для которых, по аналогии с петрографически похожими породами расслоенной габброидной интрузии Туксен-Рассмуссен (ГИТР), предполагается раннемеловое время формирования. Самыми молодыми плутоническими образованиями на островах Ведель являются тоналиты. Предполагается, что их формирование на глубинном уровне происходило в позднемеловом периоде, а тектоническая "эксгумация" и окончательное эрозионное раскрытие происходили в палеогене и завершились в неогене. В процессе "эксгумации" плутонические породы были интродуцированы гипабиссальными дайками микродиоритов. А субвулканические дайки диабазов, которые должны были интродуцировать тоналиты островов Ведель уже после их полного эрозионного раскрытия, могут иметь неогеновый или даже четвертичный возраст. Подобно ГИТР и другим расслоенным габброидным интрузиям архипелага Вильгельма, габброиды островов Ведель содержат железотитановую оксидно-рудную и медно-силикатную минерализацию, требующую дальнейшего изучения. Возраст, происхождение и минералогическо-петрографические особенности жил аплит-пегматоидных гранитов, которые интродуцируют габброиды и диориты, также требуют дополнительных исследований.

Ключевые слова: Антарктический полуостров, Берег Грея, архипелаг Вильгельма, геология, петрография.

UDK 55+551.22+552.3+552.163+550.8

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.04>Behnaz Rafiei Moghadam¹, PhD Student,
E-mail: bhnzrafi@gmail.com;Khalil Rezaei¹, Assist. Prof.,

E-mail: drkhalilrezaei@gmail.com;

Ali Solgi², Assoc. Prof.,

E-mail: Asolgi66@yahoo.com;

Pantea Ghiahchi¹, Instructor,

E-mail: aleali.mohsen@gmail.com;

Mohsen AleAli¹, Assist. Prof.,

E-mail: pgiahchi@gmail.com;

¹Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran;²Guilan center of Geoscience, Guilan, Iran

GRADATION AND GEOCHEMISTRY OF THE FENCED LAGOON SEDIMENTS (BANDAR ANZALI) WITH REGARD TOWARDS SOURCE ROCK AND TECTONIC LOCATION

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

The location of the Fenced Lagoon in the urban basin of Bandar Anzali, which should be considered due to its impact on the lives of the people of the region in terms of the conservation of the wetland and its environmental issues, and, on the other hand, the potential of this area to be introduced as a geotourism center determine the need to investigate the area's sedimentology and geochemistry. Therefore, to study sedimentary and geochemical properties of the Fenced Lagoon sediments located in Bandar Anzali, 33 samples were taken in the form of 6 cores and 12 grabs, and basic sedimentation tests and heavy metals measurement were carried out through XRF. Studies show that the sediments are ranged from sand to clay in terms of gradation and have mainly coastal-river origin. The sediments of this lake are classified into four sedimentary types: Muddy Sand, Slightly Gravely Muddy Sand, Sand and Slightly Gravely Sand and sand is the main component of all of these sediments. The most abundant sedimentary types belong to Muddy Sand and Sand and the least abundant sedimentary types belong to Slightly Gravely Muddy Sand and Slightly Gravely Sand. The nature of the source rock is derived from acidic to intermediate combination and in general, sedimentary rocks of the area under study are within the continental arch islands and, to a lesser extent, the active continental margin.

Keywords: Anzali port, sediment, sedimentary geochemistry, measurement of metals, origin, tectonic location.

Introduction. Coastal wetlands provide a wide range of natural services that are socially valuable (Gonenc and Wolfin, 2005), including fishing, tourism and even storm control (Abigail et al., 2009). Maintaining these valuable environments depends on precise study and recognition. Obviously, their economic productivity and maintenance are impossible environmentally without the recognition and study of the wetlands (Abdollahi, 2010). The southern Caspian basin also has several wetlands that require studies from different perspectives.

The Caspian Sea and its rapid fluctuations at sea level during the Holocene have been the subject of many studies over the past two decades (Lahijani et al., 2009; Leroy et al., 2011; Kakroodi et al., 2012; Naderi Beni et al., 2013). The Caspian Basin, after separating from the open sea, became a lake at the time of Pliocene, and from then on, a series of tectonic activities, fluctuations in water levels, wave effects and their flows, and rivers, made its morphology in the present way (Naderi Beni and Lahijani, 2014). Climate is the most important reason for changes in the water level of the Caspian (Kroonenberg et al., 2007; Naderi Beni et al., 2013; Leroy et al., 2013). These fluctuations at sea level have different impacts on coastal evolution and relatively on coastal deposits (Naderi Beni et al., 2013) that are recorded in coastal deposits (Tamura et al., 2008).

Changes in the level of Caspian Sea waters may result from a factor or a combination of factors, such as climate change, tectonic processes, and human activity. The impact of each of these factors is not the same as an effective factor in overall changes in the water level. Obviously, any change on the Caspian Sea has a direct impact on its marginal wetlands and the performance of river systems. Changes in such habitats will have a direct impact on the morphology and animal life and even the coastal economy. Moreover, considering that wetlands are usually influenced by sea and river forces, and changes in the dynamics of seas and rivers affect them, recognizing these effects and various anomalies in heavy elements when they enter the wetland and deposit in it are very important both ecologically and economically (Ranjbar, 2012). The sediments of wetlands are the main components of our environment and an important source of cadmium, organic and chemical substances that can be

resulted from natural processes and erosion or created by human intervention. In addition, coastal wetlands play an important role in trapping river sediments and nutrients and reduce their transmission to seas. Of course, the pattern of human activities in the use of land, such as agriculture and urban planning and the way of land use have made a lot of changes in this important issue (Bruland et al., 2010). Wetlands also play an effective role in preventing flood occurrence and act as a sedimentary slab (Kazanci et al., 2004). Since climate change and human interventions have caused many of the country's wetlands to dry out, if wetlands are studied comprehensively and properly, this environmental catastrophe can be controlled largely and the destructive effects of this process can be minimized.

Due to the environmental importance of this wetland and Anzali area in general, various studies have been carried out in this area in recent years. For instance, Kowsari did semi-detailed explorations in the area in relation to titanium in the region in 1991. Shahabi published a book on the seas and lakes of Iran in 1994 in which the significance of this wetland is also mentioned. A compilation report of the studies on water resources of the Sefid Roud basin was prepared in 2001 by Gilan Regional Water Company. Other studies in this area include the geological map of Bandar-e-Anzali, prepared by Mousavi-Harami (2006) and Khabaznia et al. (2005) to better understand this water basin. Then, to complete them, Kheiri (2005) presented a report on remote sensing of Bandar Anzali plate with special attention to the marine geology and morphology of the Caspian region. Karim Khani (2007), prepared a report on the sedimentology and sedimentary geochemistry of the sea plate of Bandar Anzali, and the latest research in this area was carried out by Ms. Hazer Moshar (2015), as the doctorate dissertation, which has not been published yet.

Despite the presence of the Fenced Lagoon inside the city of Anzali and its impact on the lives of residents around it, no comprehensive study has been carried out so far on the sedimentology of this area. Therefore, this study seeks to achieve this goal.

Geographical Location and Sampling Points. The Fenced Lagoon is about 240 m in length and in the broadest place 40 m wide at latitude 4147855 N and longitude

365152 E and is located in the southeast of Anzali wetland and in the north of fire department of Ghazian district and in the city of Anzali. The elevation of the lake is 24 m from the sea level, the area of the lake is 29353 m² and its perimeter is 1137 m. This area is located in the 1 : 100,000 Anzali rectangular maps. In the past, this wetland was part of the Caspian Sea drainage basin, which was running to the Anzali wetland through a water slab. Surface waters and seasonal and winter rainwaters flowed into the pond after crossing various areas. At present and in the summer, its water content decreases, which somewhat plays the role of the drainage of the area. The wetland is surrounded by residential houses and private estates.

For this research, after collecting the data and office studies, the wetland area was first determined using aerial photos and satellite imagery using ArcGIS software. Then the sampling points were determined according to the extent of the wetland (Fig. 1).

Materials and Methods. Sampling at the surface of the wetland was carried out based on previous findings and data, which consisted of 33 specimens in the form of six cores, the cores were taken by polyethylene pipes, and 12 samples of the deposits in the wetland floor taken by the grab (Fig. 2).

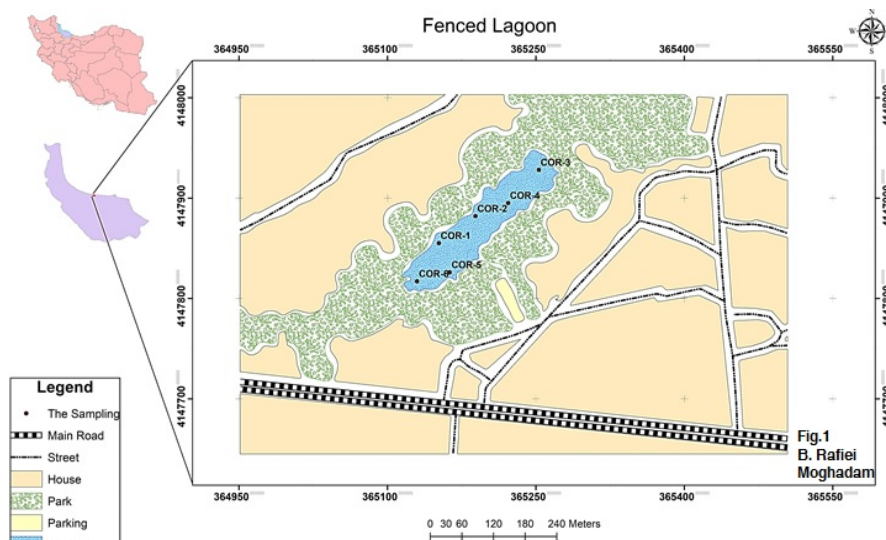


Fig. 1. Geographical location of the Fenced Lagoon and the sampling points



Fig. 2. Coring the wetland using polyethylene pipes, and packing and recording the cores (left), and sampling by grab (right)

Samples Preparation. After transferring the specimens to the laboratory and freezing them, the sedimentary cores were separated from the polyethylene tubes by a stone milling machine, so that half of the core thickness was still in the tube. At this point, care must be taken to prevent the contact of metal blade of the milling machine with the cores (Fig. 3).

The specimens inside each core were separated according to color change and sedimentation and were accumulated and numbered in individual containers. Experiments performed on the samples included gradation, hydrometry, XRF and ICP. There are several methods for measuring the diameter of the grains (Mousavi-Harami, 2006). Dry sieve method was used in this study. After drying, the sample were weighed and dried through sieving and were graded by the shaker (Anderson

and Krysell, 2005). The results of gradation were used to obtain the statistical factors and the comprehensive Folk (1980) drawing method was used for the particles sedimentology such as sorting, tilting and stretching, and the population of suspension, mutation and deflection of sediments, as well as their turning point were calculated using cumulative diagram. Then, the frequency percentage chart of the particles was plotted using GRADISTAT software (Blott and Pye, 2001). In the following, using Folk's (1954) method, four facial types were identified and using Rockwork software, facies columns were depicted based on the depth and this information was used to interpret and comment the sedimentary environment and their vertical and lateral changes. For gradation of clay and salt particles (below 63 microns) is the hydrometric method

the best method in which the particles' diameter is obtained according to Stokes's law (Faiz Nia, 2008). Hydrometric experiments were carried out on 3 cores and 2 crop samples, then parameters such as creep rate, time,

particle diameter and ultimately transition and cumulative percentages were calculated and diagrams were plotted based on the cumulative percentage and particle diameter in F and the results were analyzed.



Fig. 3. Cutting of polyethylene pipes by means of milling machine (above) and sedimentary cores after cutting (below)

After the sedimentation steps, a geochemical method was used to analyze the samples and determine the forming oxides and to identify the minerals in the sediments. Many geochemical methods, despite the high resolution, are very time consuming and cause the waste of the sediment. Therefore, in this research, the non-destructive XRF method was used (Jansen et al., 1998; Rohl and Abrams, 2000). This method is widely used in the Dutch Texel Research Institute for measuring the intensity of heavy elements (Bahr et al., 2005). For this purpose, all 45 samples were sent to the laboratory of the Geological Survey and Mineral Exploration of Iran and the elements in the samples were analyzed. Then, using the multivariate graphs, the origin of the wetland sediments was obtained.

Discussion. Gradation Studies.

Grain size is one of the most important characteristics of sedimentary particles that is affected by their transfer and sedimentation (Folk and Ward, 1957). Therefore, analyzing particle size and shape gives us important clues about the origin of sediment, transport history and sedimentation conditions. Since the obtained results may not be directly comparable using different methods, and the analysis of the obtained data by using more than one method may be difficult (Pye, 1994), the obtained data and the results of 6 cores and 12 samples of grab were investigated in this research using GRADISTAT software. By determining the percentage of

particles with different diameters in the described method, the sediment was named according to the Folk method (1954). Despite the low percentage of gravel in samples, since the abundance of coarse grains in sediments, even to a negligible amount, is valuable for interpreting the energy and the type of the environment (Mousavi-Harami, 2006), it was considered in sediments classification and environment determination. According to the Folk method (1954), the sediments of this lake were divided into four sedimentary types including Muddy Sand, Slightly Gravelly Muddy Sand, Sand, Slightly Gravelly Sand, and sand is the main component of all these sediments. The most abundant sedimentary types belong to Muddy Sand and Sand and the least abundant sedimentary types belong to Slightly Gravelly Muddy Sand and Slightly Gravelly Sand. The frequency of Muddy Sand is mainly seen in surface sediments up to the depth of 100 cm, while the facies type of Slightly Gravelly Muddy Sand is related to greater depths and both facies are more abundant in the north and northeast parts of the lake. By moving to the south and southwest regions of the lake, the two facies of Sand and Muddy Sand become more abundant (Fig. 4). The size of sediment particles increases as the depth decreases from northeast to southwest. Alternate layers of sand – mud and sand horizons containing shellfish represent the periods of relaxation of the lagoon and its relationship with the sea (Ghazban, 2011).

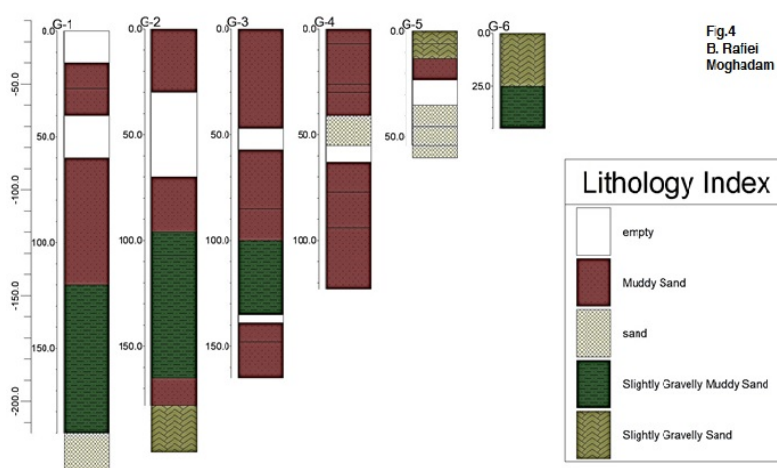


Fig. 4. Stratigraphic column of Fenced Lagoon Sediments

The range of elongation in the sediments of the studied basin is between 0,63 and 1. In other words, the elongation

of sediments in different cores varies from very broad to broad, medium and stretched, which is more toward broader

grains indicating that the curve trail (silt, clay and gravel) has a better alignment than the middle part of the curve (Faiz Nia, 2008). In most of the rivers with bed load, it is shown that with better alignment downwards, the cumulative curve elongation increases (Mousavi-Harami, 2006). The majority of the samples in the basin have bad to moderate alignment (between 0,5 to 1,7). This situation usually represents the flow turbulence that is probably due to the arrival of seasonal flow of rivers into the basin (Paseban, 2012). The range of tilting variations in the studied sediments varies between -0,6 and 0,3. Of these, only six samples taken with the grab have positive tilting and the rest have negative tilting. Positive tilting indicates a greater frequency of fine-grained sediments, possibly due to the presence of these particles between coarser-grained sediments (Paseban, 2012). Of course, the turbulence of the feeding currents of the area, erosion and crushing of coarse-grained sediments, and unstable grains that lead to the production of smaller sediments, are also the causes of positive tilting (Rice, 1999). Negative tilting also means an increase in coarse-grained particles, which can be seen on shores where the reciprocating waves are active and fine particles are removed (Faiz Nia, 2008).

Gradation changes in this basin, including changes in grain size and changes in statistical parameters such as sorting and rounding and flattening can indicate the intensity of changes in the feeding currents of the area and lithology changes in the region. Non-continuous changes in the particles size indicate the role of subordinate feeding branches in supplying sediment in this basin.

Geochemical Studies.

One of the most reliable methods to identify the source rocks and separate sediments is the use of geochemical data in the separation of the main and secondary elements. Many researchers have carried out geochemical studies to determine the origin of sediments in the wetlands, their water quality, as well as the pollutants contained in them (Amini, 2012). In the meantime, the volume of studies carried out on Anzali wetlands and its surrounding wetlands is remarkable because of its importance as an international wetland.

Swamps and bays of the Caspian margin are formed under three main processes of longitudinal transmission of

coastal sediment, elevation of the Caspian Sea and anticline-syncline structures (Leontiev, 1977), and are considered the environment of the land-to-sea transition. These environments, which are semi-closed with sandy slabs or structural complications, provide a relatively low-energy environment for sedimentation (Leeder, 1982), thus in addition to being influenced by the marine environment, they are affected by the catchment area and surrounding shores as well.

In general, geochemical data of the main and secondary elements can be used for chemical classification of rocks, determination of the prevailing weathering conditions of sedimentary rocks, separation of adult sediments from immature, determination of the source rock and the main tectonic position of igneous rocks and some sedimentary rocks (Rollinson, 1993). The study of the main elements is often limited to 10 elements, Ca, Na, K, P, Ti, Al, Fe, Mn, Mg and Si, which are conventionally expressed as oxidation in XRF chemical decomposition. Controlling processes of the elements in sedimentary rocks can be studied using the normalization diagrams similar to the spider diagrams (Rollinson, 1993).

The main part of the Caspian coastline is covered with delta, river and coastal sediments of the present day (Agha Nabati, 2004). The present sediments of the study area include the granitoid complex remain between the hardened sediments Attributed to continental – sea climates of the Quaternary (Alavi, 1996). Based on geochemical similarities and previous studies (Nazari et al., 2004), this granitoid is comparable to Lahijan granites. This unit itself is located on older sediments, including sedimentary-deltaic facies of the sub-intertidal zone of the upper Triassic, lower Jurassic to early Cretaceous, deposited in various tectonic climates. The most ancient rocks in the area under study are also a row of destructive rocks, sandy shale and thin to middle layer sandy argillaceae of olive green, which can be considered equal to the upper part of the Mila Formation or the middle section of the Lalun Formation (Alavi, 1996).

The results of the analysis of the elements in the deposits of various sedimentary cores of the wetland are displayed in Fig. 5.

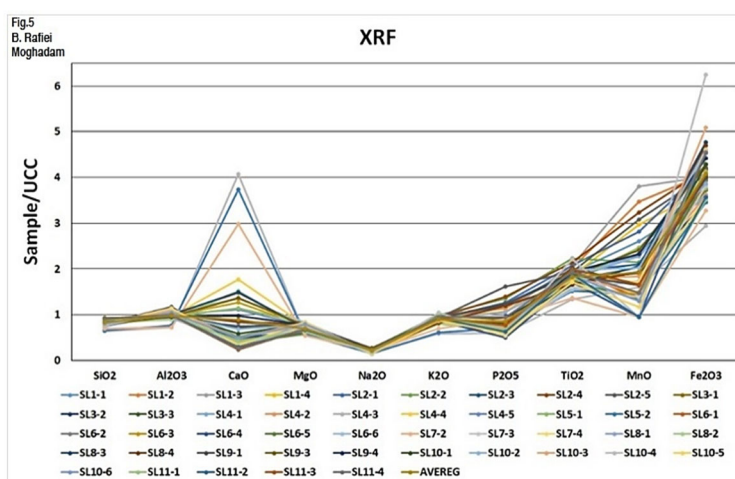


Fig. 5. Spider diagram of the main oxides and secondary elements normalized with the combination of upper Talar and McLennan (1985) continental crust (UCC, 1985) based on geochemical data of the Fenced Lagoon sediments

Before examining the results of the geochemistry on the commonly used charts and their interpretation, it is necessary to analyze the statistical processing of the decomposition of the main and secondary elements of the cores. As shown in the table, the mean SiO₂ content of the Fenced Lagoon sediments (61,37 %) is approximately equal

to the mean SiO₂ content of the continental crust (Taylor and McLennan, 1985; SiO₂ = 64/8). Moreover, the mean CaO content of the wetland sediment (1,4 %) is about twice as much as the CaO content of the upper crust (4.19), which indicates high amount of fine stones and carbonate cement, causing a relative reduction in SiO₂ and Al₂O₃ percentage.

The amount of K_2O and Na_2O (1,55 on average) is higher than that of the continental crust that can indicate the presence of feldspar in the samples. A higher percentage of Fe_2O_3 and MgO oxides, as compared to the upper continental crust, may also represent mafic minerals.

Since Al_2O_3 is almost unchanged during weathering, diagenesis and transformation, it can be used as an appropriate factor for comparison with other major elements. (Therefore, in order to investigate the geochemical position of the main and rare elements in the sand and mud sediments of the Fenced Lagoon, the frequency diagrams of the oxides of the main elements have been used against Al_2O_3 (Afarin et al., 2014). The changes trends of the oxides of the main and trace elements against Al_2O_3 indicate that the sediments under study can be classified into two general groups of sand and mud. In Fig. 6, the relationship between Al_2O_3 and K_2O , Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 and SiO_2 is positive and it does not show a significant relationship with MnO , CaO , Na_2O , K_2O and P_2O_5 . The positive relationship between Al_2O_3 and Fe_2O_3 and K_2O can be due to the presence of these elements in clay and mica minerals. Furthermore, K_2O can represent a rich aluminum phase, especially illite, or concentration of potassium minerals in samples LEE (1999); DAS et al., (2006). Since the amount of clay in stone background is low in sand samples, the K_2O content is

probably related to clay minerals found in shale specimens. The positive association of Al_2O_3 and SiO_2 indicates the presence of feldspar and mica and clay minerals. Increasing TiO_2 with Al_2O_3 indicates the association of TiO_2 or phyllosilicates, especially illite (Dabard, 1990). High percentage of CaO indicates that the samples can contain carbonate, and calcite, in particular. A relatively high proportion of K_2O/Na_2O (especially in shale) can be attributed to the presence of albitic plagioclase, feldspar potassium of mica and illite (Pettijohn et al., 1987; McLennan et al., 1993; Nath et al., 2000).

The main elements during weathering, transport and diagenesis can be used to determine the degree of maturation of sediments (McLennan et al., 1993). A low amount of Na_2O in the studied sandstone can be attributed to their high maturity. In addition, the SiO_2/Al_2O_3 ratio is also an indicator used to determine maturity. This amount increases during weathering, transport and re-cycling as a result of quartz increase over unstable parts such as feldspar and rocky parts. A greater proportion of 5 to 6 in sediments and sedimentary rocks represent the high maturity of sediment or rock. (Roser and Korsch, 1988) The average of this fraction in the studied samples is less than one, which indicates the immaturity of these sediments; this is also characterized by high Na_2O content.

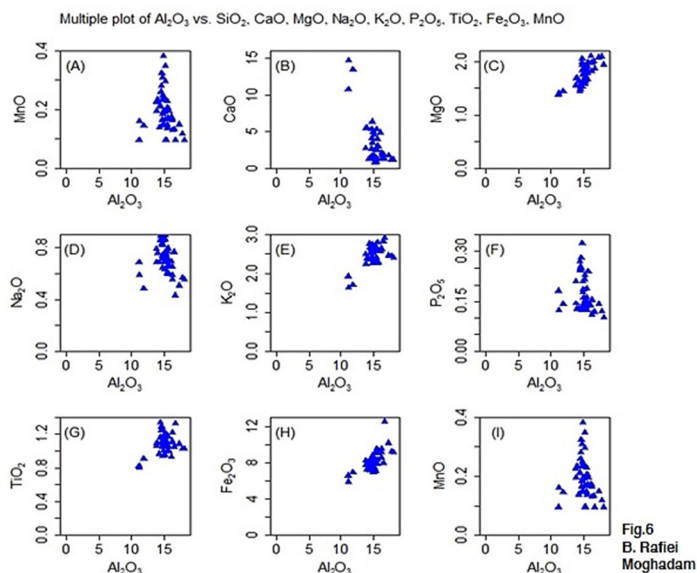


Fig. 6. Chart of changes of some of the oxides of the main and secondary elements against the weight percent of Al_2O_3 in order to study the geochemical status of the main and rare elements in the Fenced Lagoon sediments

Source Rock

Geochemistry of sediments can play an important role in determining the source and mother rock and climatic conditions of sediments. The analysis of secondary elements, as well as major oxides such as Al_2O_3 and TiO_2 , is very important for the interpretation of sediments (Katemaunzanga and Gunter, 2009; Maslov, 2011). For example, trace elements such as barium, lanthanum, vanadium, zirconium in sediments provide researchers with important information about mother rock of the sediments, and using different techniques such as the use of triangular and dual diagrams can provide useful information on wetlands (Lak, 2015).

In this regard, many classifications can reveal the origin of deposits. For example (Maynard et al., 1982; Bhatia, 1983; Bhatia and Crook, 1986; Roser and Korsch, 1986) the methodology used for this study is presented by Roser and Korsch (1988), which helps us recognize four kinds of sediments origins in four different zones including Mafic,

Intermediate, Felsic and Depositional Quartz. These diagrams are obtained from the total oxides of Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Na and K. The advantage of using this method is that one can ignore the percentage of biogenic SiO_2 and CaO and consider the percentage of the oxide of other elements against Al_2O_3 while using these diagrams to determine the source Roser and Korsch (1986). With respect to (Fig. 7), the obtained samples show a gradual transition from mafic to intermediate igneous origin. Samples containing shale are well plotted in mafic zone (Roser and Korsch, 1988). It seems that the ratio of Al_2O_3/TiO_2 in shale is similar to that of source rocks and can therefore be used as an indicator of origin. (Hayashi et al., 1997). Hayashi et al insist that A ratio of above 21 could indicate the felsic origin. This average in our research was between 16,93 and 20,67, which could indicate the origin of the combination of mafic to intermediate. It should be added that the distribution of metal elements in sediments around the Caspian Sea region suggests that, in some cases, such as barium, their

concentration is more than the amount of the ground, which indicates their entry through human activities, although most of them are supplied through destructive deposits of the watershed (Lahijani *et al.*, 2009). Comparison of metal composition of surface sediments with deep sediments of

the same area in terms of chemical composition can indicate the geochemical background of the region (Karageorgis *et al.*, 2006; Buccolieri *et al.*, 2006; Muller and Groves, 1993; Adams and Keller, 1994).

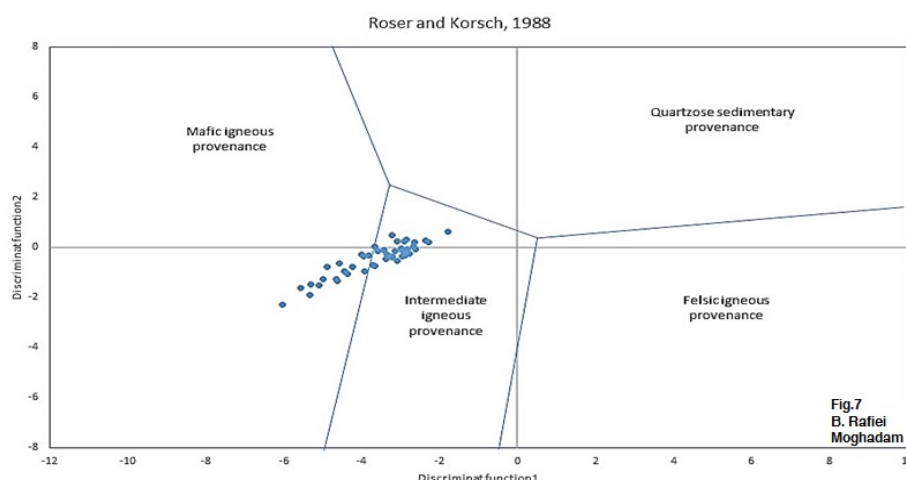


Fig. 7. Locating the samples taken from the Fenced Lagoon on the chart Roser and Korsch (1988).

Discriminant function I = $-1,773 \text{ TiO}_2 + 0,607 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,76 \text{ Fe}_2\text{O}_3$ (total) $-1,5 \text{ MgO} + 0,616 \text{ CaO} + 0,509 \text{ Na}_2\text{O} - 1,224 \text{ K}_2\text{O} - 9,09$;
Discriminant function II = $0,445 \text{ TiO}_2 + 0,07 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,25 \text{ Fe}_2\text{O}_3$ (total) $-1,142 \text{ MgO} + 0,438 \text{ CaO} + 1,475 \text{ Na}_2\text{O} + 1,426 \text{ K}_2\text{O} - 6,861$

Tectonic Location

Determination of tectonic location is influenced by factors such as sedimentation, diagenesis and initial composition of sediment (Pettijohn *et al.*, 1987; Bhatia, 1983; Chamley, 1990). Therefore, the main elements of the sand can be used to determine their tectonic position (Bhatia, 1983; Von Eynatten, 2003; Armstrong-Altrin and Verma 2005; Al-Juboury *et al.*, 2009; Sahraeyan and Bahrami, 2012). As shown in Fig. 8, based on changes in the values of the main elements, the cranial rocks of oceanic arch islands, continental arch islands, active continental margin, and passive margin can be separated from each other. In (Roser and Korsch, 1986) diagram, major oxides of SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , and K_2O are used to determine the long-standing tectonic location of sediments. With regard to Fig. 8, it appears that the Fenced Lagoon sands are more oriented to the continental arch islands. The reason for the displacement of the samples in relation to the determined limits can be the presence of Fe_2O_3 and MgO oxides. The presence of some Al_2O_3 can be due to the presence of particles containing iron and magnesium phyllosilicates.

In general, the summary of the graphs used to study the tectonic position of sedimentary rocks suggests that the sediments of the studied area are located in the continental arch islands and, to a lesser extent, in the active continental margin. The existence of a stable tectonics in the region has resulted in relatively regular geochemical data accumulation Adabi (2011). Therefore, with regard to petrographic and tectonic-stratigraphic evidence of the sediments in the region it can be concluded that these sediments have been deposited near the source. Geochemical study of surface sediments of the region indicates that there is a good correlation between frequency of elements and gradation and mineralogy in some elements. In fact, the destructive origin of sediments is the main contributor to the distribution of elements, especially heavy metals in the bed, and the anomaly of the concentration of the elements is mainly dependent on the mud blasters and the penetration of groundwater from the bed (Glazovski, 1991; Brusilovskii and Turuchkina 1974).

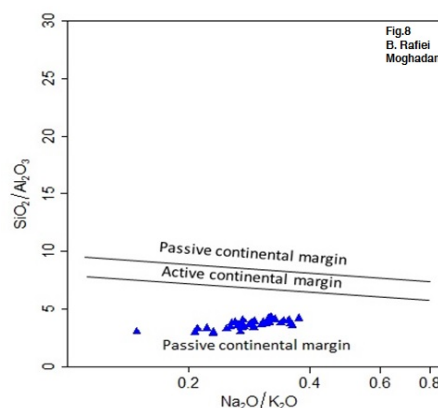


Fig. 8. The composition diagram of the main elements of the Fenced Lagoon sediments to determine the tectonic location of the deposits: Bhatia, 1983; Roser and Korsch, 1986

Conclusion. Sedimentary and geochemical studies of destructive deposits of the Fenced Lagoon were carried out to identify the source rock and tectonic location and the following results were obtained. Sediments of this lake were divided into four sedimentary types including Muddy Sand, Slightly Gravely Muddy Sand, Sand, and Slightly Gravely Sand, and sand is the main component of all these sediments. The most abundant sedimentary types belong to Muddy Sand and Sand and the least abundant sedimentary types belong to Slightly Gravely Muddy Sand and Slightly Gravely Sand. The frequency of Muddy Sand is mainly seen in surface sediments up to the depth of 100 cm, while the facies type of Slightly Gravely Muddy Sand is related to greater depths and both facies are more abundant in the north and northeast parts of the lake. By moving to the south and southwest regions of the lake, the two facies of Sand and Muddy Sand become more abundant. The size of sediment particles increases as the depth decreases from northeast to southwest. Alternate layers of sand – mud and sand horizons containing shellfish represent the periods of relaxation of the lagoon and its relationship with the sea (Ghazban and Zare, 2010). The changes trends of the

oxides of the main and trace elements against Al_2O_3 indicate that the sediments under study can be classified into two general groups of sand and mud. A review of the charts to determine the nature of the origin rock suggests that the sediment samples of the Fenced Lagoon fall into different ranges of Mafic and Felsic origin rock, that is, they have acidic to intermediate combination.

The survey of the total graphs used to study the tectonic position of sediments indicates that the sediments of the studied area are located in the continental arch islands, and to a lesser extent, the active continental margin.

Список використаних джерел / References

- Abdollahi Pour, F., Safahieh, A., Dadalahi, S., Pakzad, A., Tocheie, S. (2012). Determination of concentration of copper, lead, and nickel metals in the sediment of the tidal zone of Chabahar shores. Proceedings of the Fourth International Congress of Geographers of the World of Islam.
- Abigail, C., Allwood, J.P., Grotzinger, A.H., Knoll, I.W., Burch, M.S., Anderson, M.L., Coleman, H., Isik, K. (2009). Controls on development and diversity of Early Archean stromatolites. A National Aeronautics and Space Administration Astrobiology Institute at the Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology, Pasadena, 55–66.
- Adams, D.C., Keller, G.R. (1994). Possible extension of the Midcontinent rift in west Texas and eastern New Mexico. *Canadian Journal of Earth Science*, 31, 709–720.
- Adabi, M.H. (2011). Sedimentary geochemistry. Second edition. Arian zamin publisher, Tehran.
- Agha-Nabati, A. (2004). Iran's Geology. Geological survey of Iran. Tehran.
- Afarin, M., Bumry, M., Mahnubi, A. (2014). Sedimentary and geochemistry of siliciclastic sediments (tertiary and quaternary) west beach of Chabahar, South west of Sistan va Baluchestan. *Journal of Geosciences*, 24, 96, 85–96.
- Alavi, M. (1996). Tectono stratigraphic synthesis and structural style of Alborz mountain system in northern Iran. *J. Geodynamics*, 21/1, 1–33.
- Al-Juboury, A.I., McCann, T., Ghazal, M.M. (2009). Provenance of Miocene sandstones in northern Iraq: constraints from framework petrography, bulk-rock geochemistry and mineral chemistry. *Russian Geology and Geophysics*, 50, 517–534.
- Amini, A., Moussavi-Harami, R., Lahijani, H., Mahboubi, A. (2012). Sedimentological, geochemical and geomorphological factors in formation of coastal dunes and nekha fields in Miankaleh coastal barrier system (Southeast of Caspian Sea, North Iran). *Geosciences Journal*, 16/2, 139–152.
- Anderson, K.J., Krysell, M. (2005). Dry matter (DM), loss on ignition (LOI) and total organic carbon (TOC). *Report on an evaluation study*.
- Armstrong-Altrin, J.S., Verma, S.P. (2005). Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic Settings. *Sedimentary Geology*, 177, 1–2, 115–129.
- Bahr, B. A., Lamy, F., Arz, H., Kuhlmann, H., Wefer, G. (2005). Late glacial to Holocene climate and sedimentation history in the NW Black Sea. *Marine Geology*, 214, 309–322.
- Bhatia, M.R. (1983). Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones. *Journal of Geology*, 91, 611–627.
- Bhatia, M.R., Crook, K.A.W. (1986). Trace Element Characteristics of Graywackes and Tectonic Setting Discrimination of Sedimentary Basins. *Contrib. mineral. Petrol.*, 92, 181–193.
- Blott, S.J., Pye, K. (2001). GRADISTAT: A Grain Size Distribution and Statistic Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments Surface Processes and Modern Environments Research Group. Department of Geology, Royal Holloway University of London, Egham, Surrey. TW20 0EX, UK, Earth Surface Processes and Landforms. Earth Surf. Process. Landforms 26, 1237–1248, 261.
- Bruland, K.W. (2010). GeoTrace Co Intercalibration Results. Retrieved from Intercalibration/SAFE Co.pdf.
- Brusilovskii, S.A., Turchkin, N.M. (1974). Microelements in ground water and in sediments at the west coast of middle Caspian. In: Leontiev, O.K. and Maev, E.G. (Eds.). Comprehensive Investigation of the Caspian Sea. Moscow State University Publication, Moscow, 4, 126–134.
- Buccolieri, A., Cardellicchio, N., Dellatti, A., Di Leo, A., Macib, A. (2006). Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Marine Chemistry*, 99, 227–235.
- Chamley, H. (1990). Sedimentology. Berlin: Springer-Verlag.
- Dabard, M.P. (1990). Lower Proterozoic Formations (Upper Proterozoic) of the Armorican Massif (France): Geodynamic evolution of source areas revealed by sandstone petrography and geochemistry. *Sedimentary Geology*, 69, 45–58.
- Das, B.K., Al-Mikhalfi, A.S., Kaur, P. (2006). Geochemistry of Mansar Lake sediment, Jammu, India; Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26, 649–668.
- Faiz Nia, S. (2008). Applied Sedimentology with Emphasis on Soil Erosion and Sediment Production. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- Folk, R.L. (1980). Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company Austin, Texas.
- Folk, R.L., Ward, W.C. (1957). Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3–26.
- Folk, R. L., (1954). The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Jour. Geology*, 62, 344–359.
- Ghazban, F., Zare, M. (2011). Survey of the origin of heavy metals pollution in Bandar Anzali sediments (North of Iran). *Environmental sciences, thirty and seventh year*, 57, 45–56.
- Glazovski N.F. (1991). The Aral Crisis. Source, Current Situation and Way Out, USSR in the Perspective of Global Change. Polish Association for the Club of Rome, Warsaw, Globality versus Locality, 3, 167–199.
- Gonenc, I.E., Wolfin, J.P. (2005). Coastal lagoons: ecosystem processes and modeling for sustainable use and development. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Hazer Moshar, A. (2015). Sedimentology and Hydrogeological Origin in Eynak Marsh (West of Rasht, Gilan Province). *PhD Thesis*. Faculty of Science, Islamic Azad University (North Tehran).
- Hayashi, K.I., Fujisawa, H., Holland, H.D., Ohamoto, H. (1997). Geochemistry of approximately 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador. Canada. *Geochem Acta*, 61, 4115–4137.
- Jansen, J.H.F., Van Der Gasst, S.J., Koster, B., Vaars, A.J. (1998). CORTEX, a shipboard XRF-scanner for element analyses in split sediment cores. *Mar. Geol.*, 151, 143–153.
- Kakroodi, A.A., Krooneberg, S.B., Hoogendoorn, R.M., Mohammad Khani, H., Yamani, M., Ghassemi M. R., Lshijani, H.A.K. (2012). Rapid Holocene sea level changes along the Iranian Caspian coast. *Quaternary International*, 263, 93–103.
- Karimkhani, A., Mohseni, H., Atashmard, Z. (2007). The role of sedimentological and geochemical indicators in the recognition of redox conditions in the southern part of the South Caspian Basin. *Applied Sedimentology*, 5/9, 1–20.
- Krooneberg, S.B., Abdurakhmanov, G.M., Badyukova, E.N., Van Der Borg, K., Kalashnikov, A., Kasimov, N.S., Rychagov, G.I., Svitoch, A.A., Vonhof, H.B., Wesselingh, F.P. (2007). Solar-forced 2600 BP and Little Ice Age Highstands of the Caspian Sea. *Quaternary International*, 137–143.
- Kazanci, N., Turkmen, G., Ertunc, O., Gultutan, Y., Ekingen, P., Oz, B. (2008). A research on water quality of Kelkit stream using benthic macroinvertebrates and physicochemical variables. *Rev. Hydrobio.*, 1/2, 145–160.
- Kazanci, N., Gulbabazadeh, T., Leroy, S.A.G., Ileri, O. (2004). Sedimentary and environmental characteristic of the Gilan – Mazenderan plain, northern Iran: Influence of long and short-term Caspian water level fluctuation on geomorphology. *Marine System*, 46, 145–168.
- Khabaznia, A.R., Khalatbari-Jafari, M. (2005). Geological map of the Birk2 Quadrangle. Scale /100,000. Published by Geological Survey of Iran (as supervisor).
- Karageorgis, A., Agnostou, Ch., Sioulas, A., Chronis, G., Papathanassiou, E. (2006). Sediment geochemistry and mineralogy in Milos Bay. SW Kyklades. Aegean Sea. Greece. *Journal of Marine Systems*, 16, 269–281.
- Katemaunzanga, D., Gunter (2009). Lithostratigraphy, Sedimentology, and Provenance of the Balfour Formation (Beaufort Group) in the Fort Beaufort–Alice Area, Eastern Cape Province, South Africa. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 83/5, 902–916.
- Lahijani, H.A.K., Rahimpour Bonab, H., Tavakoli, V., Hosseindoost, M. (2009). Evidence for Late Holocene high-stands in Central Gilan–East Mazenderan, South Caspian coast, Iran. *Quaternary International*, 197, 55–71.
- Lak, R. (2015). Sedimentation study of areas susceptible to the production of rapeseed in the marginal lands of the northwest of Lake Urmia. Geological Survey of Iran.
- Leeder, M.R. (1982). Sedimentology, processes and product. UNWIN HYMAN.
- Lee, Y. (1999). Geochemical characteristics of the Manhang Formation (Late Carboniferous) sandstones, Korea: implication for provenance. *Geosciences Journal*, 3, 87–94.
- Leontiev, O.K. (1977). Geomorphology of the Iranian coast of the Caspian Sea. Russian Academy of Sciences, 5/6, 20–25.
- Leroy, S.A.G., Lahijani, A.K., Djamali, M., Naqinezhad, A., Moghadam, M.V., Arpe, K., Shah-Hosseini, M., Hosseindoust, M., Miller, C.S., Tavakoli, V., Habibi, P., Naderi, M. (2011). Late Little Ice Age paleoenvironmental records from the Anzali and Amirkola lagoons (south CS): vegetation and sea level changes. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleogeology*, 302, 415–434.
- Maynard, J.B., Valloni, R., Yu, H.S. (1982). Composition of modern deep-sea sand from are related basins. Trench fore-arc Geology: Sedimentation and Tectonics on Modern and Ancient Active Plate Margins, Geological Society of America Special Paper.
- Maslov, A.V. (2011). Lithogeochemistry of the fine-grained siliciclastic rocks of the Vendian Serebryanka Group of the Central Urals. *Geochemistry International*, ISSN: 0016-7029 (Print), 12/152, 1556–1968.
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N. (1993). Geochemical approaches to sedimentation provenance and tectonics. In: Johnsson, M.J. and Basu, A. (Eds.). Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. Geological Society of America, Boulder, Colorado, Special Paper 284, 21–40.
- Moussavi-Harami, R. (2006). Sedimentology. Ninth edition. Astan Quds Razavi Publishing House.
- Muller, D., Groves D.I. (1993). Direct and Indirect associations Between Potassic igneous rocks, shoshonites and gold-copper deposits. *Ore Geol. Rev.*, 8, 383–406.
- Naderi Beni, A., Lahijani, H. (2014). Late Holocene Caspian Sea Level Changes and its Impacts on Low Lying Coastal Evolution: a Multidisciplinary Case Study from South Southeastern Flank of the Caspian Sea. *Journal of the Persian Gulf (Marine Science)*, 5/16, 22, 27–48.
- Naderi Beni, A., Lahijani, H., Mousavi Harami, R., Leroy, S., Shah-Hosseini, M., Kabiri, K., Tavakoli, V. (2013). Development of spit-lagoon complexes in response to Little Ice Age rapid sea level changes in the central Gilan coast, South CS, Iran. *Geomorphology*, 187, 11–26.

Nath, B.N., Kunzendorf, H., Plüger, W.L. (2000). Influence of Provenance, weathering and sedimentary processes on the elemental ratio of the fine-grained fraction of the bed load sediments from the Veinbanad lake and the adjoining Continental shelf, southwest coast of Iran. *Journal of Sedimentary Research*, 70, 1081–1094.

Nazari, H., Omrani, J., Shahidi, A., Salamati, R., Moussavi, A. (2004). Geological map of Bandar-e Anzali, 1 : 100,000. Geological Survey of Iran.

Paseban, A. (2012). Sedimentary facies and slope changes of sediments towards downstream of basin of Sarghaye (south of Mashhad). *Scientific Journal of Sedimentary Facies*, 5/2, 153–168.

Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R. (1987). Sand and Sandstone. 2nd ed. Springer-Verlag, New York.

Pettijohn, F.J. (1963). Chemical composition of sandstones, excluding carbonate and volcanic sands. Chap. S in date of geochemistry. 6th ed. U.S. Geological Survey, Professional Paper 440, 21P.

Pye, K. (1994). Properties of sediment particles. In *Sediment Transport and Depositional Processes*. Blackwell: Oxford, 1–24.

Ranjbar, M. (2012). Anzali Wetland Changes and its Morphological Characteristics in Land Use. *Journal Of Geography of the land*, 9/34, 93–111.

Rollinson, H.R. (1993). Using Geochemical Data: Evolution, Presentation, Interpretation. Longman.

Rice, S. (1999). The nature and controls on downstream fining within sedimentary link. *J. Sediment. Res.*, 69A, 32–39.

Rohl, U., Abrams, L.J. (2000). High-resolution, downhole and non-destructive core measurements from Sites 999 and 1001 in the Caribbean Sea : Application to the late Palaeocene the maximum. *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results*, 165, 191–203.

Roser, B.P., Korsch, R.J. (1988). Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major element data. *Chemical Geology*, 67, 119–139.

Roser, B.P., Korsch, R.J. (1986). Determination of tectonic setting of sandstone. Mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology*, 94, 635–650.

Sahraeyan, M., Bahramani, M. (2012). Geochemistry of sandstones from the Aghajari Formation, Folded Zagros Zone, southwestern Iran: Implication for paleo weathering condition, provenance, and tectonic setting. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 4, 390–407.

Tamura, A. et al. (2008). Petrology and geochemistry of peridotites from IODP Site U1309 at Atlantis Massif, MAR 30°N: micro- and macro-scale melt penetrations into peridotites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 155/4, 491–509.

Taylor, S.R., McLennan, S.M. (1985). The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Science Publisher.

Von Eynatten, H. (2003). Petrography and chemistry of sandstone from the Swiss Molasse Basin: An archive of the Oligocene to Miocene evolution of the Central Alps. *Sedimentology*, 50, 703–724.

Надійшла до редколегії 13.03.20

Бехназ Рафій Морадам¹, асп.,

E-mail: bhnzrafiei@gmail.com;

Халіл Резай¹, асист.,

E-mail: drkhalilrezaei@gmail.com;

Алі Солгі², доц.,

E-mail: Asolgi66@yahoo.com;

Пантея Г'яічі¹, інструктор,

E-mail: aleali.mohsen@gmail.com;

Мохсен АлеАлі¹, асист.,

E-mail: pgiahchi@gmail.com;

¹Науковий відділ, Ісламський університет Азад, Тегеран, Іран;

²Гуйланський центр геології, Гілан, Іран

ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ТА ГЕОХІМІЯ ОСАДОВИХ ВІДКЛАДІВ ЛАГУН (БАНДАР-АНЗАЛІ) З УРАХУВАННЯМ МАТЕРИНСЬКИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД І ТЕКТОНІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

Розташування лагуни Фенсед у міському басейні Бандар-Анзалі вимагає дослідження з метою врахування впливу на життя людей регіону в контексті збереження водно-болотних угідь та екологічних систем. Потенціал цього району, який є центром геотуризму, визначає необхідність дослідження седиментології та геохімії району. Тому для вивчення осадових і геохімічних властивостей осадів лагуни Фенсед у Бандар-Анзалі було відібрано 33 зразки, а також проведено базові седиментаційні випробування та визначення вмісту важких металів за допомогою XRF. Результати показують, що зразки змінюються від піску до глинистої фракції, а також мають переважно прибережно-річкове походження. Осади даного озера класифікуються за чотирма осадовими типами: грязьовий пісок, злегка насичений грязьовий пісок, пісок і важкий пісок. Пісок є основною складовою частиною всіх цих відкладень. Найбільш розповсюджені осадові типи належать до грязьового піску та піску, а найменш розповсюджені належать до злегка насиченого грязьового піску та важкого піску. Характер вихідної породи залежить від кислої до проміжної комбінації, і загалом осадові породи досліджуваної території лежать у межах континентальних дугових островів. Меншою мірою відносяться до активної окраїни континенту.

Ключові слова: порт Анзалі, осади, осадова геохімія, важкі метали, походження, тектонічне розташування.

Бехназ Рафій Морадам¹, асп.,

E-mail: bhnzrafiei@gmail.com;

Халіл Резай¹, асист.,

E-mail: drkhalilrezaei@gmail.com;

Алі Солгі², доц.,

E-mail: Asolgi66@yahoo.com;

Пантея Г'яічі¹, інструктор,

E-mail: aleali.mohsen@gmail.com;

Мохсен АлеАлі¹, асист.,

E-mail: pgiahchi@gmail.com;

¹Отделение науки, Исламский университет Азад, Тегеран, Иран;

²Гиланский центр геонаук, Гилян, Иран

ДИФФЕРЕНЦІАЦІЯ І ГЕОХІМІЯ ОСАДОЧНИХ ОТЛОЖЕНЬ ЛАГУН (БАНДАР-АНЗАЛІ) С УЧЕТОМ МАТЕРИНСЬКИХ ГОРНИХ ПОРОД І ТЕКТОНІЧЕСЬКОЇ ОБСТАНОВКИ

Расположение лагуны Фенсед в городском бассейне Энзели требует исследования, чтобы учесть влияние на жизнь людей региона в контексте сохранения водно-болотных угодий и экологических систем. Потенциал этого района, который является центром геотуризма, определяет необходимость исследования седиментологии и геохимии района. Поэтому для изучения осадочных и геохимических свойств осадков лагуны Фенсед в Энзели было отобрано 33 образца, а также проведены базовые седиментационные исследования и определения содержания тяжелых металлов с помощью XRF. Результаты показывают, что образцы меняются от песка до глинистой фракции, а также имеют преимущественно прибрежно-речное происхождение. Осадки данного озера классифицируются по четырем осадочным типам: грязевой песок, слегка насыщенный грязевой песок, песок и тяжелый песок. Песок является основной составной частью всех этих отложений. Наиболее распространенные осадочные типы относятся к грязевым пескам и пескам, а наименее распространенные относятся к слегка насыщенному грязевому песку и тяжелому песку. Характер исходной породы зависит от кислой к промежуточной комбинации, а осадочные породы исследуемой территории находятся в пределах континентальных дуговых островов. В меньшей степени относятся к активной окраине континента.

Ключевые слова: порт Анзали, осадочные породы, осадочная геохимия, тяжелые металлы, происхождение, тектоническое расположения.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.837

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.05>

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.,

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

В. Онищук, канд. геол. наук, доц.,

E-mail: vitus16@ukr.net;

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

E-mail: oivan1@ukr.net;

М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.,

E-mail: mvreva@gmail.com;

О. Шабатура, канд. геол. наук,

E-mail: dard@ukr.net;Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна**ГЕОФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗСУВНИХ ТЕРИТОРІЙ ПРАВОГО БЕРЕГА РІЧКИ ДНІПРО
(ЛІСОСТЕПОВА ЗОНА)***(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М.І. Орлюком)*

Присвячено висвітленню методичних принципів застосування геофізичних методів досліджень при вивченні зсувних територій. Наводяться геолого-геофізичні моделі зсувних ділянок. Наведено завдання, що ставляться при спеціалізованих дослідженнях зсувів, і геофізичні методи їхнього вирішення. Виділено три етапи спеціалізованих досліджень зсувних процесів: рекогносцирувально-методичний, детальний та моніторинговий, визначено комплекс геофізичних методів досліджень для цих етапів.

Наголошено, що раціональний комплекс геофізичних методів при дослідженні зсувних процесів визначається для кожної окремої природної обстановки (окремої ділянки) з урахуванням: можливості виконання польових досліджень окремим геофізичним методом на даній ділянці; наявності диференціації порід за фізичними властивостями, що використовуються конкретним геофізичним методом; економічної ефективності застосування даного геофізичного методу.

Для прикладу наведено деякі результати геофізичних досліджень, виконаних на характерних зсувних ділянках у межах правого берега р. Дніпро лісостепової зони України поблизу Трипільської теплоелектростанції.

Ключові слова: інженерно-геофізичні дослідження, зсуви, електричний опір, мікроелектрозондування, геолого-геофізичні моделі.

Постановка проблеми. В останній час міські території привертають увагу з необхідності оцінки ризику прояву небезпечних природних і природно-техногенних явищ і процесів, що становлять загрозу для безпечного проживання людини та функціонування об'єктів господарської інфраструктури. Для території міських агломерацій найбільш суттєвими є такі процеси: сучасні повільні тектонічні (вертикальні й горизонтальні) та сейсмічні рухи земної кори; активізація крипових рухів по розломах – з ендегенної групи; гравітаційні (зсуви), ерозійні та суфозійно-просадкові, заболочування – з екзогенної групи. Останнім часом набувають важливого значення такі загрозові явища природно-техногенного та техногенного походження, як підтоплення, осідання ґрунту внаслідок ущільнення порід підвалин споруд тощо.

Слід зазначити, що зсувні процеси належать до категорії найбільш небезпечних і широко розповсюджених екзогенних геологічних явищ. Унаслідок циклічності активізації та катастрофічності проявів зсувні процеси створюють постійну загрозу виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного, природного і техногенно-природного характеру. Вивчати їх – означає визначати ті послідовні зміни складу і властивостей гірських порід, які виражають деякі об'єктивні закономірності, без знання яких неможливе досягнення головної мети – наукового прогнозу розвитку зсувних процесів. Регіональне вивчення зсувних процесів базується на аналізі інженерно-геологічних умов території, історії її геологічного розвитку, кліматичних умов, а також окремих космічних факторів (циклічність сонячної активності, взаємне місцезнаходження Землі, Місяця та Сонця тощо).

Геофізичні методи застосовуються для вивчення гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов зсувної ділянки, впливу їх на екологічну обстановку, об'єкти господарської інфраструктури. При цьому вивчаються закономірності часових змін різних геофізичних полів і параметрів середовища, які відображають особливості

розвитку зсувного процесу. Об'єктивна оцінка зсувонебезпечності територій потребує вирішення цілої низки завдань. Основними з них є: визначення будови схилу, його складу, стану, властивостей, умов залягання та геометричних параметрів окремих товщ гірських порід, їхнього водонасичення і режиму підземних вод. Вирішення цих завдань, разом з даними про кліматичні та гідрологічні умови району, матеріалами про техногенні навантаження та історію розвитку зсуву, служать основою для проведення розрахунків стійкості схилу.

Основна увага при цьому звертається на детальні екогеофізичні дослідження верхньої частини розрізу (ВЧР) – приповерхневої частини геологічного середовища потужністю в десятки, рідше перші сотні метрів. Вона включає ґрунти, гірські породи, поверхневі, ґрунтові та підземні води, екзогенні фізико-геологічні явища (зсуви, карст тощо). ВЧР найбільшою мірою зазнає впливу екзогенних (атмосферних, поверхневих) і техногенних (фізико-хімічних, енергетичних) процесів, а також ендегенних (внутрішньоземних) факторів. ВЧР часто характеризується екстремальним проявом як природних (різкою геологічною та петрофізичною неоднорідністю у просторі та часі), так і техногенних (максимальним проявом різноманітних штучних фізичних полів) процесів. Особливістю верхньої частини геологічного середовища, що зазнає значних техногенних навантажень, є яскраво виражена залежність усіх його характеристик від координат точок спостережень – властивості й стан ґрунтів і гірських порід верхньої частини розрізу помітно змінюються від точки до точки як по латералі, так і по вертикалі. Різко змінюється у просторі й часі поведінка різних геофізичних полів.

Прогнозування зсувних ділянок базується на вивченні мікродинаміки напружених мас порід, що знаходить відображення у вимірних геофізичних полях. Застосування геофізичних досліджень дозволяє обстежити великі площі

при детальності спостережень, яка недоступна для прямих методів інженерно-геологічних вишукувань з використанням буріння великої кількості свердловин. Вони дешевші за прямі методи і можуть бути виконані за короткий термін. Завдяки всебічному аналізу досліджуваної системи і масовому характеру спостережень геофізична інформація найбільш повно забезпечує можливість моделювання, яке є необхідним елементом інженерно-геологічного моніторингу зсувних процесів.

Моніторингові інженерно-геофізичні дослідження при вивченні зсувів призначені для натурного спостереження за змінами геологічного середовища в зоні розвитку зсувних процесів (Вижва та ін., 2018; Кузьменко та ін., 2015). Отримані геофізичні матеріали використовуються для прийняття науково-технічних рішень на проведення оптимальних захисних інженерно-технічних заходів. Необхідність та обов'язковість спеціалізованих геолого-геофізичних досліджень у районі зсувних територій з метою прогнозування імовірних геоекологічних змін докільця впливає із численних прорахунків в об'єктуванні будівництва та експлуатації різних природно-техногенних систем.

Слід зазначити, що нехтування організацією моніторингових інженерно-геофізичних та екогеофізичних досліджень зсувонебезпечних територій підвищує ризики катастрофічного розвитку ситуації. Значна кількість аварій, що сталися внаслідок різкої активізації зсувних процесів, призводить до загибелі людей та втрати матеріальних цінностей.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Існує низка публікацій, присвячена застосуванню методів геофізики для вивчення зсувних процесів (Вижва та ін., 2017, 2018; Vyzhva et al., 2019; Горяїнов та ін., 1987; Кузьменко та ін., 2009, 2015; Огильви, 1990), проте систематичні спеціалізовані геофізичні дослідження, а тим більше геофізичний моніторинг, практично не проводяться. В основному, по можливості, використовуються матеріали геофізичних зйомок, раніше виконаних на площі досліджень з метою геологічного картування та пошуків родовищ корисних копалин. Слід зауважити, що кількість публікацій на дану тему з практичними прикладами застосування геофізичних методів для вивчення зсувів є незначною.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Стаття присвячена висвітленню особливостей застосування електрометричних досліджень зсувних територій правобережжя р. Дніпро в умовах лісостепової зони України. Слід зауважити на досить складних геоелектричних умовах досліджень, пов'язаних з природною обстановкою та загалом із слабкодіференційованим геоелектричним розрізом, що потребує підвищеної точності польових вимірювань, застосування статистичних методів обробки та нових підходів до інтерпретації польових геофізичних даних.

Мета досліджень – висвітлення особливостей геофізичних досліджень при вивченні зсувів.

У статті наведено результати комплексних геоелектричних досліджень верхньої частини розрізу характерних зсувних ділянок у районі сіл Гребені й Вітачів Київської області на правобережжі р. Дніпро.

Геолого-геофізичні моделі зсувного масиву. Геологічна обстановка, що впливає на виникнення зсувів, визначається умовами залягання, властивостями і станом корінних порід і більш молодих утворень, які їх перекривають. У першу чергу звертають увагу на виділення у межах схилів геологічних тіл, що за своїми геотехнічними показниками є найбільш схильними до зсувних процесів. Це головним чином глинисті породи з високими коефіцієнтами пластичності, які характеризуються електричними опорами, що не перевищують перших десятків Ом·м.

На розвиток усіх типів зсувів значний вплив мають особливості залягання і руху підземних вод. У свою чергу водонасичення порід впливає на зміну їхніх фізичних властивостей, передусім на суттєве зниження питомого електричного опору. Тому необхідно вивчати ґрунтові, пластові й тріщинні води, які насичують пласти і тріщини, що виклинюються у межах схилу. Особливо важливим фактором, від якого залежить надходження води до схилових відкладів, є наявність і положення регіональних водотривів.

У процесі геолого-геофізичного вивчення зсувних масивів важливо з'ясувати деталі їхньої будови. Потрібно мати на увазі, що для зсувних масивів характерним є найрізноманітніше поєднання тією чи іншою мірою контрастних, різноорієнтованих меж поділу з поступовою градієнтною зміною фізичних властивостей.

Слід відмітити, що зсувоутворення – це динамічний процес, який на кожній стадії свого розвитку визначається сукупністю різноманітних природних факторів, що призводять до порушення стійкості схилів.

Найважливішою особливістю геолого-геофізичної моделі (ГГМ) зсувного масиву є наявність поверхні (зони) ковзання. У цій зоні природна структура породи зазнає найбільших змін. Порушуються властиві гірській породі зв'язки, змінюється її структура, підвищується вміст і мінералізація порової води. Ці зміни відображаються у низці геофізичних параметрів, зокрема, у зниженні електричного опору породи. Установлено, що значення електричного опору проб води в зоні ковзання у 1,5–2 рази нижче, ніж опору, характерного для підземних вод досліджуваної ділянки. Підвищення мінералізації в даному випадку – це, головним чином, результат гідратації глинистих мінералів, чому сприяє перетирання та інтенсивна механічна переробка порід. Найістотніше зростає електропровідність матеріалу, що являє собою зону ковзання породи (типу аргілітів, сланців, глинистих пісковиків) і меншою мірою глин з високими показниками пластичності. Також чітко виявляється у цій зоні зменшення швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль і зростання коефіцієнтів їхнього поглинання. Кожне наступне переміщення зсувного масиву порушує нормальний стан порід у зоні ковзання, що відповідно призводить до зміни їхніх електричних і швидкісних параметрів. При цьому виникає середовище з градієнтною, поступовою зміною фізичних властивостей (Вижва та ін., 2017, 2018; Vyzhva et al., 2019; Горяїнов та ін., 1987; Кузьменко та ін., 2009, 2015; Огильви, 1990).

Також відбуваються інтенсивні зміни порід, що становлять основне тіло зсуву. Зміщуючись схилом, ці породи механічно руйнуються і стають менш стійкими, їхній електричний опір знижується. Істотно різняться значення електричних опорів порід тіла зсуву й однотипних утворень за його межами.

Швидкості поширення пружних хвиль у лесових породах на деформованих схилах можуть бути на 40–60 % нижчі, ніж на стійких ділянках, розташованих за межами зсуву. Складний характер руху зсуву створює різноманітні поєднання зон стиснення і розтягнення, які найбільш чітко виявляються у пружних параметрах. Зсувне тіло відрізняється анізотропією всіх геофізичних параметрів. Основу цього явища становить тріщинуватість, яка є однією з найбільш характерних особливостей зсувних масивів. Чітко виявляється анізотропія у молодих активних зсувах. Це явище ефективно вивчається електричними і сейсмоакустичними методами.

Більшість зсувів належить до пластичних і структурних типів. Для перших характерно зміщення мас гірських порід у більш-менш однорідному масиві по поверхні ковзання. У другому відбувається сповзання блоків порід по

ослаблених контактах між похилими шарами порід. В особливу групу виділяються зсуви в лесових породах, які широко розвинені в степовій і лісостеповій зонах, зокрема на правобережжі Дніпра в межах Київської області (Вижва та ін., 2018; Горяинов та ін., 1987; Кузьменко та ін., 2009). Зсувні явища в цих відкладах тісно пов'язані з різким зменшенням їхньої механічної міцності під час розмокання і подальшої дезінтеграції.

Пластичні зсуви утворюються в однорідних породах, що відрізняються зазвичай зниженими електричними опорами ($\rho = 5\text{--}60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) і швидкостями поширення поздовжніх і поперечних пружних хвиль ($V_p = 500\text{--}1700 \text{ м/с}$, $V_s = 200\text{--}600 \text{ м/с}$). Фізичні властивості самого зсуву визначаються ступенем зруйнованості порід тіла зсуву, наявністю тріщин та їхнім заповнювачем, напруженням станом порід, потужністю зони аерації, обводненістю окремих частин зсуву та деякими іншими факторами.

Специфічними особливостями характеризується приповерхневий шар зсувних масивів, що перебуває під інтенсивним впливом процесів вивітрювання. Він відрізняється дуже низькими значеннями швидкостей пружних хвиль і високим коефіцієнтом їхнього поглинання. Його питомий електричний опір може змінюватися від $5\text{--}10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (у період дощів) до $100\text{--}200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ на тій же ділянці – у посушливу пору року. Виконані дослідження дозволяють припускати, що фізичні властивості, у тому числі пружні й електричні, у зонах інтенсивного вивітрювання змінюються з глибиною за законом, близьким до експоненціального.

У зоні аерації зсуву значення електричних опорів помітно перевищують цей параметр тих же порід за межами зсуву або, у рідкісних випадках, приблизно рівні їм. Швидкості сейсмічних хвиль майже не відрізняються від характерних для тих же порід у корінному заляганні. Межа між зоною аерації й повного водонасичення зазвичай носить розмитий характер, причому особливості зміни параметрів тут залежать від ступеня розвитку "капілярної облямівки".

Структурні зсуви відрізняються особливостями поверхонь ковзання, які приурочені до ослаблених зон на межах між геологічними тілами. Ці поверхні можуть бути плоскими, похило-ступінчастими і в окремих випадках хвилястими.

Повсюдно поширено зсуви, що виникають у результаті зміщення делювію по похилих поверхнях корінних порід. Особливо часто зустрічаються зсуви такого типу в Карпатах. У більшості випадків їх можна успішно вивчати геофізичними методами. У зоні аерації в межах товщі делювію поведінка електричних і сейсмічних параметрів загалом аналогічна характерним особливостям цих параметрів у зсувних тілах пластичних порід.

Особливість даного виду зсувів полягає в контрастному характері межі поділу між породами, що зміщуються і породами корінного ложа. При цьому швидкості поздовжніх V_p і поперечних V_s хвиль у корінних породах здебільшого мають підвищені значення. Електричний опір зростає, коли поже складено скельними слабо вивітряними породами, а в разі глинистих корінних порід він зменшується. Для напівскельних корінних порід співвідношення опорів залежить як від їхнього складу, так і від складу, стану і ступеня обводнення зсувних товщ.

Інший тип ГГМ структурних зсувів зустрічається в моноклінально похилих шаруватих масивах корінних порід. Їхнє сповзання відбувається у вигляді блоків по прошарках пластичних (найчастіше глинистих) порід, що відрізняються низькими величинами швидкостей пружних хвиль і електричних опорів. Завдяки незначній товщині подібні прошарки лише в рідкісних випадках відобража-

ються у вимірюваних на поверхні схилу геофізичних полях. Водночас на каротажних діаграмах (за наявності свердловин) вони чітко фіксуються практично всіма реєстрованими параметрами.

Аналіз ГГМ зсувних масивів свідчить про те, що, використовуючи який-небудь один геофізичний параметр, далеко не завжди вдається отримувати достовірну і достатню інформацію. Тому для вивчення зсувів доцільно застосовувати комплекс геофізичних методів і визначати комплексні показники, розрахунок яких передбачає подання результатів усіх окремих методів у рівнозначних безрозмірних величинах показників контрастності. Таким шляхом, зокрема, вдається виділяти малопотужні зволожені зони в нижніх шарах лесових порід, а також зони з низьким ступенем порушеності. Використання функції комплексних безрозмірних параметрів сприяє успішному вивченню полів вологості й деформації у зсувних масивах, що підвищує надійність і обґрунтованість їхнього виділення.

Завдання і комплекс геофізичних досліджень зсувів. Вивчення зсувних процесів є одним з найскладніших завдань для інженерної геофізики, оскільки дослідження необхідно виконувати на досить крутих схилах, а зона зсуву характеризується значною мінливістю геофізичних параметрів. Розміри досліджуваної ділянки (поперечні розміри зсуву) зазвичай невеликі, що ускладнює проведення спостережень за стандартною методикою.

Досвід геофізичних досліджень зсувних масивів показує, що вони вкрай неоднорідні за всіма своїми показниками як за площею, так і за глибиною. Тіло зсуву відрізняється анізотропією всіх геофізичних параметрів. В основі цього явища лежить тріщинуватість, яка служить однією з найбільш характерних особливостей зсувних масивів.

При вивченні зсувонебезпечних ділянок за допомогою геофізичних методів вирішуються такі основні завдання:

1. Визначення зовнішніх меж зсуву та меж окремих його блоків.
2. Визначення глибини залягання поверхні (зони) зміщення.
3. Розчленування тіла зсуву (у плані й розрізі) на окремі комплекси порід, які відрізняються за літологічним складом, характером і ступенем тріщинуватості й напруженого стану.
4. Визначення положення рівня ґрунтових вод і верховодки, напрямку та швидкості руху фільтраційного потоку.
5. Оцінка стану зсувного схилу, вивчення водно-фізичних і фізико-механічних властивостей порід тіла зсуву та корінного ложа.
6. Організація геофізичного каналу моніторингу зсувних процесів, вивчення їхньої динаміки, прогнозування розвитку негативних змін і видача рекомендацій для прийняття захисних інженерно-технічних заходів.
7. Спостереження за ефективністю протизсувних інженерно-технічних заходів – оцінка якості роботи дренажних систем, підпірних стін, штучного закріплення ґрунтів тощо.

При вивченні зсувонебезпечних ділянок геофізичні дослідження мають такі специфічні особливості:

1. Об'єктом вивчення служить верхня частина розрізу – геологічне середовище, яке має свою структуру, речовинно-літологічний склад, петрофізичні й водно-фізичні особливості та спектр завад. При цьому постійно змінюються його геофізичні властивості.
2. Інформативні anomalії спостерігаються на фоні дуже високого рівня різних завад, що тягне за собою, з одного боку, необхідність виконання великої кількості високоточних вимірювань, а з іншого – потребує гнучкого комплексування геофізичних методів з інженерно-геологічними та гідрогеологічними дослідженнями.

3. Досить густа мережа спостережень, яка відповідає масштабу 1 : 2 000 – 1 : 5 000 і визначається конкретною геолого-геофізичною обстановкою району робіт і поставленими завданнями.

4. Спостереження виконуються у максимально стислі терміни, щоб уникнути похибок, викликаних власне зсувним процесом.

5. Поряд з наземними широко використовуються спостереження у внутрішніх точках середовища (каротажні методи). Особливо велика роль цих досліджень у вирішенні такої задачі, як визначення поверхні (зони) зміщення зсуву та спостереження за її станом.

6. Під час моніторингових досліджень перший цикл спостережень виконується у період відносної стабілізації зсуву, а наступні – у періоди активізації процесу. Для надійного прогнозування розвитку зсувних процесів необхідно провести мінімум три цикли спостережень.

7. Необхідно виконувати комплексний аналіз усієї геолого-геофізичної інформації з тісною ув'язкою матеріалів різних геофізичних методів.

Виділяють три етапи геофізичних досліджень зсувів: рекогносцирувально-методичний, детальний та моніторинговий. На рекогносцирувально-методичному етапі досліджень виконуються дистанційні геофізичні зйомки (радіолокаційна, радіотеплова тощо) та комплексні геофізичні спостереження на окремих профілях. За матеріалами цих досліджень визначаються загальні геофізичні особливості району робіт, ефективність окремих геофізичних методів і розробляється їхній раціональний комплекс для проведення детальних робіт.

На етапі детальних досліджень проводяться комплексні наземні та каротажні спостереження за системою профілів. За матеріалами цих досліджень вирішуються задачі, поставлені в технічному завданні, визначаються геофізичні параметри та геолого-геофізичні моделі зсувних ділянок, даються рекомендації щодо прийняття захисних інженерно-технічних рішень. Аналіз цих даних дозволяє зробити також вибір характерних (ключових) профілів і точок для організації моніторингових спостережень.

На етапі моніторингових досліджень виконуються режимні геофізичні спостереження за змінами геофізичних полів у часі, які зв'язані з динамікою розвитку зсувних процесів. Крім того, контролюється ефективність проти-зсувних інженерно-технічних заходів. Дослідження проводяться комплексом геофізичних методів на попередньо вибраних ключових профілях. Частота циклів геофізичних вимірювань визначається швидкістю розвитку зсувних процесів, конкретною геолого-геофізичною обстановкою району досліджень. Комплексний аналіз матеріалів моніторингових спостережень дозволяє зробити прогноз розвитку зсувних процесів, вносити корективи в ході виконання захисних інженерно-технічних заходів і контролювати їхню ефективність.

Як зазначалося, зсувні масиви вкрай неоднорідні середовища за всіма своїми показниками як за площею, так і за глибиною. Аномалії, спричинені зсувними процесами, спостерігаються зазвичай на фоні дуже високого рівня різних завад, що спонукає, з одного боку, до необхідності отримання великої кількості високоточних даних, а з іншого – вимагає гнучкого поєднання геофізичних методів з інженерно-геологічними та гідро-геологічними способами досліджень.

У цих умовах виконання дискретних геофізичних спостережень недостатньої густоти не дає надійних результатів. Крім того, нерегулярна мережа спостережень на зсувах також може призвести до неефективності досліджень. Якщо з економічних і технічних міркувань неможливо створити на всій досліджуваній площі зсуву

рівномірну густу мережу спостережень, геофізичні дослідження виконуються за системами профілів. При цьому рекомендується не менше трьох профілів орієнтувати зверху вниз уздовж тіла зсуву. Потім, виходячи з розмірів зсуву, розбивають ряд профілів поперек його тіла. Профілі геофізичних досліджень мають виходити за межі зсуву з тим, щоб дати можливість порівняти параметри стійкого схилу і зміщених зсувних мас.

Для вирішення завдань, пов'язаних з вивченням зсувних процесів, комплекс геофізичних методів включає дистанційні (аерометоди), електрометричні, сейсмометричні, еманайні, гравіметричні, магнітометричні, термометричні та каротажні дослідження (*Вижва та ін., 2018; Vyzhva et al., 2019; Горяїнов та ін., 1987; Огильви, 1990*). Слід зазначити, що раціональний комплекс геофізичних методів розробляється з урахуванням геолого-геофізичних і геоморфологічних умов кожної конкретної зсувної ділянки, а також економічної ефективності досліджень.

Дистанційні методи включають радіолокаційну та радіотеплову зйомки і виконуються на рекогносцирувальному етапі. Залежно від поставлених завдань вони дозволяють здійснити або узагальнене інтегральне обстеження місцевості та аналіз прояву регіональних факторів, або деталізацію окремих ділянок з метою визначення зон розвитку зсувних процесів. На основі дистанційних зйомок і ретроспективної інформації по досліджуваній території створюється перша наближена модель масиву зсуву, яка надалі конкретизується й уточнюється наземними та свердловинними геофізичними методами.

Комплекс електрометричних методів включає: вертикальне електричне зондування (ВЕЗ) у модифікації мікроелектрозондувань (МЕЗ); МЕЗ способом викликаної поляризації; електропрофілювання (симетричне, комбіноване, дипольне, природного електричного поля тощо), азимутальне структурно-геодинамічне картування (СГДК-А), спосіб природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ) та метод зарядженого тіла (МЗТ). За допомогою електрометричних досліджень вирішуються більшість наведених вище завдань. Основний обсяг інформації при вивченні зсувів отримують з даних електричних зондувань та електропрофілювань.

Методом МЕЗ при сприятливих умовах вивчаються просторові параметри зсуву, визначаються системи тріщинуватості порід тіла зсуву (рис. 1). Найкращих результатів методом МЕЗ досягають при вивченні зсувів видавлювання, зрізання та ковзання, де зазвичай існує чітко виражена поверхня ковзання у глинистих породах, а тіло зсуву складено породами, що відрізняються підвищеною дезінтеграцією.

При вирішенні завдань картування зсувних масивів широко використовується електропрофілювання, яке виконується за напрямками, що з'єднують точки електрозондувань, а також заповнює ділянки між ними. Електропрофілювання виконується установками, що забезпечують дослідження на двох глибинах: на глибині, відповідній дзеркалу зсуву, і на рівні, що характеризує верхню частину розрізу (головним чином зону аерації). Оптимальні розноси вибирають за даними попередньо виконаних одиночних зондувань. Доцільно використовувати трьохелектродні або дипольні установки, що дають можливість виділяти вузьколокалізовані тіла і, зокрема, тріщинуваті зони. Найбільш повну об'ємну геоелектричну картину зсувного масиву надають спостереження, які здійснюються дипольними установками, що являють собою комбінацію зондувань і профілювання (багатоелектродні установки).

Крім спостережень з використанням штучних електричних полів, на зсувних масивах проводять дослідження методом природного електричного поля, що

характеризують поведінку геофільтраційних процесів. Методом природного електричного поля (ПЕП), як правило, оконтурюють породи різного літологічного складу або структури, зони інфільтрації поверхневих вод і

атмосферних опадів, і зони розвантаження підземних вод, завдяки чому цим методом можуть здійснюватися режимні спостереження за розвитком зсувних процесів.

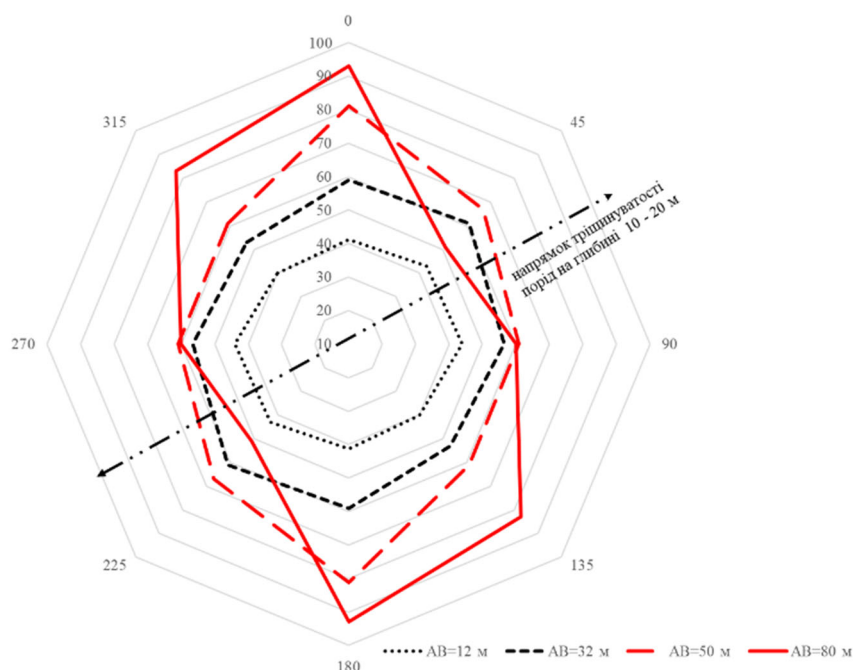


Рис. 1. Приклад визначення тріщинуватості зсувних порід за допомогою кругових МЕЗ

Методами ПЕП і МЗТ ведуть вивчення гідрогеологічних особливостей зсуву, використовуючи кореляційні зв'язки між електричними параметрами порід і коефіцієнтами фільтрації.

Режимними зйомками комплексом методів МЕЗ, ПЕП, МЗТ вивчають динаміку зсувного масиву й окремих його ділянок.

Електрометричні методи радіолокаційного підповерхневого зондування (РЛЗ) і природного імпульсного електромагнітного поля Землі, які останнім часом почали застосовувати для вивчення зсувів, базуються на вимірюванні характеристик змінних електромагнітних полів штучного та природного походження. Порівняно з іншими геофізичними методами радіолокаційний метод має високу роздільну здатність по вертикалі, яка визначається довжиною (тривалістю) зондувального сигналу. Чим коротший сигнал, тим вища роздільна здатність методу. В основі методу ПІЕМРЗ лежить ефект генерації електромагнітних імпульсів гірськими породами при дії на них механічних напружень.

Електрометричні методи за значним обсягом вирішуваних специфічних завдань, експресністю та можливістю їхнього виконання у складних геоморфологічних умовах є найбільш універсальними і ефективними при детальному вивченні зсувних ділянок.

Сейсмометричні дослідження виконуються кореляційним методом заломлених хвиль (КМЗХ) з використанням як поздовжніх, так і поперечних хвиль. Метод КМЗХ ґрунтується на реєстрації та простеженні (кореляції) перших і наступних вступів поздовжніх, а також поперечних заломлених хвиль. За допомогою цього методу вирішуються завдання, пов'язані з вивченням будови зсуву: визначення його зовнішніх границь, навіть у тих випадках, коли вони явно не виділяються за геоморфологічними ознаками, глибини залягання поверхні зміщень, а також дається оцінка стану та властивостей гірських порід. Поверхні ковзання зсуву впевнено картується сейсмічним методом за найбільш сприятливої ситуації, коли зміщення відбувається по контакту різних порід. Перехід від

стійкої частини схилу до порушеного масиву супроводжується суттєвими змінами сейсмічних характеристик: зменшенням швидкостей пружних хвиль, зростанням коефіцієнтів сейсмічної анізотропії за рахунок орієнтованої тріщинуватості й особливостей розподілу напружень усередині зсувного масиву.

На вивченні закономірностей змін стану і властивостей порід у часі ґрунтується принципова можливість розрахунку змін коефіцієнта стійкості схилу на основі розрахованих (за визначеними за допомогою сейсморозвідки швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль) значень пружних параметрів: динамічного модуля пружності та коефіцієнта Пуассона.

Сучасний рівень систем збору та реєстрації сейсмічних даних і можливості систем обробки та інтерпретації сейсмометрії дозволяють застосовувати для вивчення зсувних схилів просторову або тривимірну зйомку.

Високоточні мікромагнітна та гравіметрична зйомки сприяють оперативному картуванню меж окремих зсувних блоків, вивченню динаміки зсувних процесів. Еманційна зйомка в комплексі із СГДК-А дозволяє виділяти і простежувати зони тріщинуватості (геодинамічні зони). Малоглибинна термометрія доповнює метод природного електричного поля при вивченні гідрогеологічних умов ділянки досліджень.

Можливості геофізичних методів суттєво підвищуються в разі використання свердловинних спостережень. Застосовуються методи електричного опору, природного електричного поля, вертикального сейсмічного профілювання, міжсвердловинного сейсмічного просвічування, точковий акустичний каротаж, гамма-каротаж, нейтрон-нейтронний каротаж, термокаротаж. При цьому особливо високу ефективність мають сейсмоакустичні методи. Геофізична інформація свердловинних досліджень дозволяє визначити точні геометричні параметри геологічного розрізу, фізичні властивості порід і підземних вод. На основі цих даних установлюються кореляційні зв'язки між геофізичними та інженерно-геологічними параметрами.

Слід зазначити, що раціональний комплекс геофізичних методів при дослідженні зсувних процесів визначається для кожної окремої природної обстановки (окремої ділянки). При цьому враховується: можливість виконання польових досліджень окремим геофізичним методом з точки зору рельєфу денної поверхні ділянки; наявність диференціації порід за фізичними властивостями, що використовуються конкретним геофізичним методом; економічна ефективність застосування окремого геофізичного методу та важливість завдань, що ним вирішуються.

Експериментальні дослідження. Для прикладу наведемо деякі результати геофізичних досліджень, виконаних у межах правого берега р. Дніпро на Трипільській ділянці (район с. Вітачів і с. Гребені) поблизу Трипільської теплоелектростанції.

У результаті впливу водосховищ активізуються зсувні процеси на правому високому березі Дніпра. На Трипільській ділянці зсуви характеризуються двоповерховою будовою – наявністю двох терас зсування. Верхня тераса складена, головним чином, лесоподібними суглинками. Зсувні ґрунти представлені також (крім цих суглинків, похованих ґрунтами) флювіогляціальними пісками, моренними суглинками, бурими глинами. У межах нижньої зсувної тераси зсувні маси являють собою: глинисті ґрунти (бури й строкаті глини) – у западинах; полтавські та харківські піски, наглинок – на гребнях. Поверхня корінного ложа складена мергелем, глинистим мергелем та наглинком Київської світи.

На дослідженій території виділяються декілька водонесних горизонтів: у лесових відкладах ("верховодка"); у слабопроникливих суглинках і делювіогляціальних відкладах, що залягають на бурих глинах; у пісках харківської світи, що залягають на київських мергелях; у зсувних ґрунтах, що мають локальний розвиток.

Зважаючи на складний рельєф місцевості та економічну доцільність, для вивчення зсувних тіл застосовувався комплекс геоелектричних досліджень методами мікроелектрозондування (МЕЗ) із кроком 25 м і природного електричного поля (ПЕП) із кроком 10 м на окремих профілях-створах. За результатами цих досліджень

складено геоелектричні моделі зсувних ділянок за окремими профілями-створами.

Зіставлення геоелектричних моделей і геологічних розрізів по створах, що пересікають зсувну ділянку, дозволяє говорити про можливість вирішення таких завдань: вивчення будови корінного ложа зсуву; визначення потужності, складу і фільтраційних властивостей ґрунтів, що сповзли; виділення водоносних горизонтів (водонасичених порід).

На попередніх геологічних розрізах, складених за результатами буріння, показана горизонтально розташована поверхня київського мергелю, яка є ложем зсувів. Результати геофізичних досліджень показали, що поверхня порід київської світи не плоска і не горизонтальна (рис. 2). При цьому фіксується значна їхня диференціація за електричним опором, що свідчить про літологічну неоднорідність порід київської світи. Поряд із значно поширеними на ділянці мергелями, опір яких становить переважно 12–20 Ом·м, зустрічаються ще два різновиди порід: породи з пониженим питомим електричним опором (менше 12 Ом·м) – глинистий мергель; породи з підвищеним питомим електричним опором (25–60 Ом·м) – наглинок.

У результаті інтерпретації МЕЗ з достатньою точністю визначається потужність осадових відкладів, схильних до зсувних процесів. За даними геоелектричних досліджень, зсувні ґрунти (породи), які залягають на корінному ложі, вельми невтримані за літологічним складом, що досить контрастно окреслюється на геоелектричних моделях. Суттєво переважають суглинки середні, зустрічаються дрібнозернисті піски глинисті, електричний опір яких становить переважно від 12 до 30 Ом·м. Поряд із цим установлено ділянки поширення пісків і глин. Піски і піщані відклади відрізняються підвищеним значенням електричного опору (50–80 Ом·м). При цьому досить високі значення опору характерні для неводонасичених пісків (сотні Ом·м). Глинисті відклади і глини відрізняються зниженими і низькими електричними опорами (15–20 Ом·м).

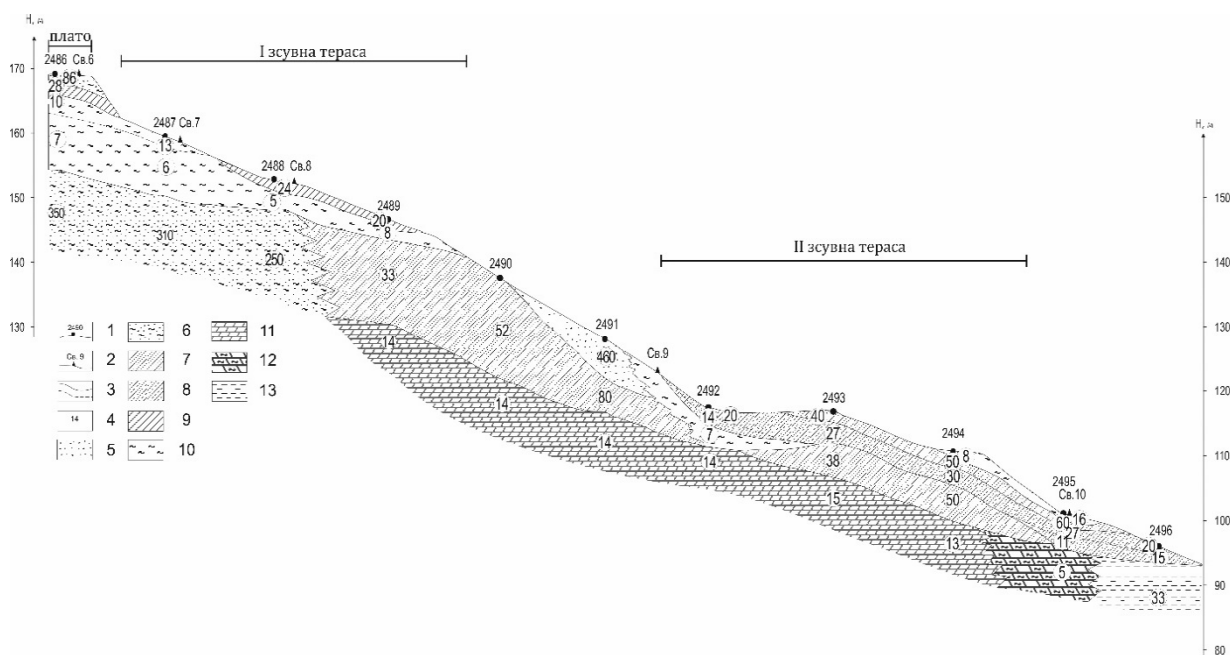
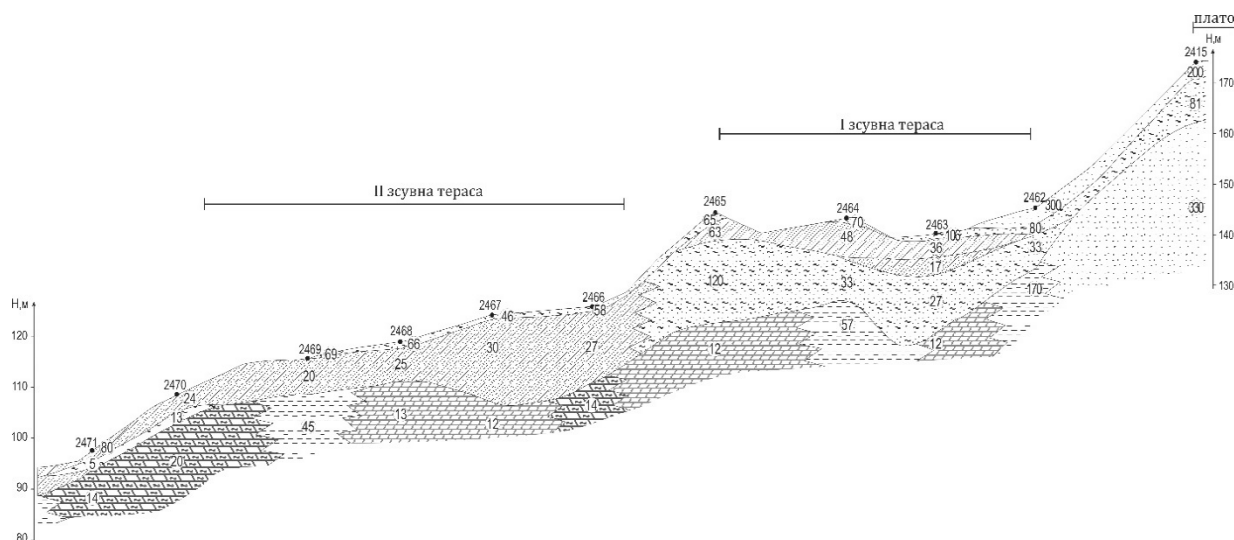


Рис. 2. Геоелектрична модель зсуву в районі с. Вітачів.

Умовні позначення: 1 – точки МЕЗ та їхні номери; 2 – геологічні свердловини та їхні номери; 3 – границі геоелектричних горизонтів; 4 – питомий електричний опір (ρ), Ом·м; 5 – піски різнозернисті ($\rho > 200$ Ом·м); 6 – піски глинисті й супіски ($\rho = 60\text{--}200$ Ом·м); 7 – суглинок легкий із прошарками супіску і суглинка середнього ($\rho = 25\text{--}60$ Ом·м); 8 – суглинок середній ($\rho = 15\text{--}30$ Ом·м); 9 – суглинок важкий ($\rho = 12\text{--}15$ Ом·м); 10 – глина ($\rho < 12$ Ом·м); породи київської світи: 11 – мергель ($\rho = 12\text{--}20$ Ом·м); 12 – глинистий мергель ($\rho < 12$ Ом·м); 13 – наглинок ($\rho = 25\text{--}60$ Ом·м)

На зсувній ділянці в районі с. Вітачів глини з низьким електричним опором і низькими фільтраційними властивостями становлять невеликі западини на тілі зсуву як на нижній, так і на верхній терасах (рис. 2). На зсувній

ділянці в районі с. Гребені високопластичні глини розповсюджені на нижній зсувній терасі й практично відсутні на верхній (рис. 3). Загалом на основі геофізичних даних встановлено переважання слабкопроникних відкладів. У нижній частині вони обводнені.



References

- Goriainov, N.N., Bogoliubov, A.N., & Varlamov, N.M. (1987). Investigation of landslides by geophysical methods. Moscow: Nedra. [in Russian]
- Kuzmenko, E.D., Bezsmertnyi, A.F., Vdovina, O.P. et al. (2009). Investigation of landslides by geophysical methods. Monograph. Ivano-Frankivsk : IFNTUOG Publishing. [in Ukrainian]
- Kuzmenko, E.D., Blinov, P.V., Vdovina, O.P. et al. (2015). Forecasting of landslides. Monograph. Ivano-Frankivsk: IFNTUOG Publishing. [in Ukrainian]
- Ogilvi, A.A. (1990). Fundamentals of engineering geophysics. Moscow : Nedra. [in Russian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Ivanchenko, K., Onyshchuk, I., Reva, M., Deineko, S. (2017). Research of geologic structure of territories of hydrotechnical systems allocation by means of geophysical methods (using

- "Senzhe" HPP as an example, Equatorial Guinea). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 77, 36–42. [In Ukrainian]
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2019). Application of geophysical methods in the study of landslides. *"Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 2019 May 13–16, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902066>.
- Vyzhva, S., Onyshchuk, V., Onyshchuk, I., Reva, M., Shabatura, O. (2019). The mapping of submerged (flooding) lands by geophysical methods. *"Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 2019 November 12–15, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903225>.
- Vyzhva, S.A., Onyshchuk, V.I., Onyshchuk, I.I., Reva, M.V. (2018). Engineering geophysics. Kyiv : Kyiv University Publishing. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 21.05.18

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: vyzhva_s@ukr.net;
V. Onyshchuk, PhD (Geol.), Assoc. Prof.,
E-mail: vytus16@ukr.net;
I. Onyshchuk, PhD (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: oivan1@ukr.net;
M. Reva, PhD (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,
E-mail: mvreva@gmail.com;
O. Shabatura, PhD (Geol.),
E-mail: dard@ukr.net;
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

GEOPHYSICAL RESEARCHES OF THE LANDSLIDE TERRITORIES OF THE RIGHT BANK OF THE DNIEPER RIVER (FOREST-STEPPE ZONE)

The paper discusses the details of the application of geophysical research methods in the study of the landslide areas of the right bank of the Dnieper River within the forest-steppe zone of Ukraine. Geological and geophysical models of landslides are given. The specific tasks that are posed in studies of landslides were highlighted. There are three stages in studies of landslides which were defined: reconnaissance-methodological, detailed and monitoring. Also, sets of geophysical methods for these stages were designated.

It is emphasized that the rational set of geophysical methods in the study of landslide processes is determined for each individual natural environment, taking into account: the possibility of performing field studies by a specific geophysical method on the area; the presence of differentiation of rocks by physical properties, that are used by the specific geophysical method; economic efficiency of application of the geophysical method.

As an example, we described some of the results of geophysical studies, which were carried out on exemplary landslide sites on the right bank of the Dnieper River within the forest-steppe zone of Ukraine near the Trypillia thermal power plant.

Keywords: engineering and geophysical studies, landslides, electrical resistivity, microelectric sounding, geological-geophysical models.

С. Выжва, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: vsa@univ.net.ua;
В. Онищук, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: vytus16@ukr.net;
И. Онищук, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.,
E-mail: oivan1@ukr.net;
Н. Рева, канд. физ.-мат. наук, доц.,
E-mail: mvreva@gmail.com;
А. Шабатура, канд. геол. наук,
E-mail: dard@ukr.net;
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ РЕКИ ДНЭПР (ЛЕСОСТЕПНАЯ ЗОНА)

Рассмотрены методические принципы применения геофизических методов исследований при изучении оползневых территорий. Приводятся геолого-геофизические модели оползневых участков. Выделены задачи, которые ставятся при специализированных исследованиях оползней и определены геофизические методы их решения. Выделены три этапа специализированных исследований оползневых процессов: рекогносцировочно-методический, детальный, мониторинговый и определены комплексы геофизических методов для этих этапов.

Отмечено, что рациональный комплекс геофизических методов при исследовании оползневых процессов определяется для каждой отдельной природной обстановки (отдельного участка) с учетом: возможности выполнения полевых исследований отдельным геофизическим методом на данном участке; наличия дифференциации пород по физическим свойствам, используемым конкретным геофизическим методом; экономической эффективности применения данного геофизического метода.

Для примера приведены некоторые результаты геофизических исследований, выполненных на характерных оползневых участках в пределах правого берега р. Днепр лесостепной зоны Украины вблизи Трипольской теплоэлектростанции.

Ключевые слова: инженерно-геофизические исследования, оползни, электрическое сопротивление, микроэлектронзондирование, геолого-геофизические модели.

УДК 54.027:546.22:549.76:551.44

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.06>

Т. Ахмедов, д-р геол.-минералог. наук, проф.,

E-mail: akhmedov.tofik@bk.ru,

Государственный университет нефти и промышленности,

г. Баку, Азербайджан

ФОРМА СЕЙСМИЧЕСКОГО ГОРИЗОНТА НА ВРЕМЕННОМ РАЗРЕЗЕ И ГОДОГРАФА ОБЩЕЙ ТОЧКИ ВЗРЫВА ОТРАЖЕННОЙ ВОЛНЫ В ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЕ ДЛЯ СЛУЧАЯ, КОГДА ПОКРЫВАЮЩАЯ ЦЕЛЕВОЙ ГОРИЗОНТ СРЕДА ОСЛОЖНЕНА НАРУШЕНИЕМ

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

Посвящено изучению форм оси синфазности (сейсмического горизонта) и годографа общей точки взрыва (ОТВ) отраженной волны, когда база приема сейсмических колебаний находится в переходной зоне, т.е. часть базы находится все еще в одном крыле, а другая часть переходит в следующее крыло. Выведено уравнение годографа способа центральных лучей (СЦЛ), т.е. осей синфазности отражений, для случая, когда покрывающая целевой горизонт среда осложнена нарушением. Затем выведено уравнения годографов ОТВ отраженной волны, восходящие лучи которой преломляются на линии нарушения. Для этого было использовано уравнение годографа нормальных отражений, преломленных на линии нарушения.

Используя выведенные формулы, были рассчитаны годографы ОТВ для различных моделей среды, анализ которых показал, что при прохождении базы приема сейсмических волн над нарушенной зоной годограф отраженной волны делится на два отрезка, имеющих разные кривизны и разные сдвиги во времени относительно друг друга в зависимости от различия скоростных разрезов в ту или иную сторону от линии нарушения, и все это создает впечатление, что эти отрезки не относятся к одному и тому же годографу.

Ключевые слова: сейсмическая разведка, дизъюнктивные дислокации, годограф СЦЛ, годограф ОТВ, переходная зона.

Введение. Дизъюнктивные дислокации (ДД) являются важнейшими тектоническими элементами геологического разреза (Ахмедов, Багиров, 2010). Они играют большую роль в формировании и разрушении ловушек углеводородов, но специальные геолого-геофизические исследования по изучению тектонических нарушений не проводятся (Кушнарев, 1977). Можно сказать, что единственным способом изучения ДД остается сейсморазведка, которая дает достаточно полную информацию о них. Основным объемом сейсмических исследований нарушений посвящен выделению, прослеживанию и систематизации кинематических и динамических признаков ДД на сейсмических временных разрезах 2D, 3D и в горизонтальных срезах кубов. Эти исследования обобщены в монографии Ю.С. Королькова и др. (Корольков и др., 2001).

Постановка проблемы. В нарушенных зонах часто наблюдаются зоны сложной сейсмической информации, размеры которых достаточно большие. На наш взгляд, в формировании этих зон особую роль играют волны, отраженные от границ, находящихся ниже нарушенной зоны, восходящие (отраженные) лучи которых преломляются на плоскости сбрасывателя при возвращении на поверхность земли. Эта проблема стоит особо остро при применяемых в сейсморазведке 3D базах наблюдений: при прохождении через нарушенную зону часть базы приема остается в одном крыле, а другая часть переходит в следующее крыло ДД (Ахмедов, Багиров, 2010).

Исследовательские вопросы. В цифровой обработке данных сейсморазведки одной из основных процедур обработки является ввод кинематических поправок с целью спрямления гиперболических годографов многократных перекрытий с последующим синфазным суммированием полезных волн для улучшения отношения сигнал/помеха и получения временных разрезов – куб сейсморазведки 3D. Реальная среда далека от той простой модели, которая применяется при вводе кинематических поправок (Личагина и др., 2009; Лавров и др., 2017).

Целью исследования является изучение формы годографа в случае осложнения покрывающей целевой границы среды нарушением.

Методология. Сначала выведем уравнение годографа способа центральных лучей (СЦЛ) отраженной волны, преломляющейся на плоскости сбрасывателя нарушения, а затем перейдем к выводу уравнения годографа общей точки взрыва (ОТВ) для того же случая (Marloes and Bastiaan, 2018; Hale, 2013; Luo and Hale, 2013).

Естественно, что годограф СЦЛ представляет собой ось синфазности нормальных отражений, т.е. это сейсмический горизонт на временном разрезе. Рассмотрим простейшую модель среды (рис. 1): двухслойная среда, разделенная одной отражающей границей произвольной формы (2 – 2), над которой расположена плоскость сбрасывателя (или линия нарушения) тоже произвольной формы (1 – 1). Касательные к этим линиям произвольной формы на рис. 1 обозначены через $1^1 - 1^1$ и $2^1 - 2^1$ соответственно. Среда, покрывающая отражающую границу $2^1 - 2^1$ разделена на две части скоростями v_1 и v_2 касательной к плоскости сбрасывателя $1^1 - 1^1$; здесь α и φ углы наклона касательных к выше названным линиям в точках преломления и отражения соответственно. Начало координат поместим вблизи нарушенной зоны в произвольной точке О и определим время вдоль нормального луча, перпендикулярного в точке R к отражающей границе глубиной $Z_R = Z_{R1} + Z_{R2} = Z_1 + Z_2$. Здесь Z_{R1} – глубина залегания по вертикали касательной к преломляющей границе (т.е. линии нарушения) непосредственно над точкой отражения R; Z_{R2} – расстояние по вертикали от точки отражения до касательной к промежуточной (преломляющей) границе; Z_1 – глубина по вертикали касательной к промежуточной (преломляющей) границе под началом координат; Z_2 – вертикальное расстояние между точкой отражения R и промежуточной (преломляющей) границей (рис. 1). Существует следующие связи между этими глубинами (расстояниями):

$$Z_{R1} = Z_1 + l_R \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

$$Z_{R2} = Z_2 + l_R \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

здесь l_R – абсцисса точки отражения.

Найдем горизонтальное расстояние δx между точкой преломления нормального луча на плоскости сбрасывателя нарушения Р и точки его отражения R на отражающей границе (рис. 1):

$$\delta x = \delta z \operatorname{ctg} \alpha,$$

с другой стороны, как видно из рис. 1, следующее выражение тоже верно для δx

$$\delta x = (Z_{R2} - \delta z) \operatorname{tg} \varphi,$$

после нескольких преобразований получим

$$\delta x = \frac{Z_{R2} \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}. \quad (3)$$

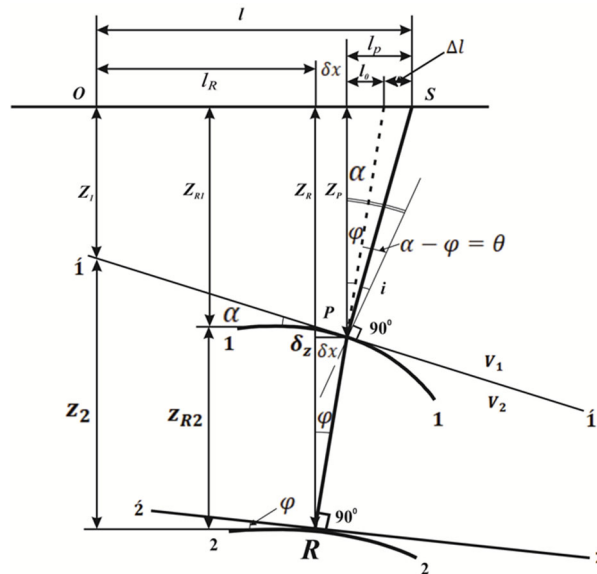


Рис. 1. К выводу уравнения годографа нормальных отражений (сейсмического горизонта). Модель среды с одним разрывным нарушением (1-1) произвольной формы и криволинейной отражающей границей (2-2)

Наконец, используя Z_{R2} и Z_2

$$Z_{R2} = Z_2 - l_R \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

получим следующее, окончательное выражение для δx :

$$\delta x = \frac{Z_2 \operatorname{tg} \varphi - l_R \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi} \quad (4)$$

Глубина точки преломления нормального луча на линии нарушения P равна

$$Z_P = Z_{R1} + \delta Z = Z_{R1} + \delta x \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

подставляя (3) в (5), получим

$$Z_P = \frac{Z_{R1} + Z_R \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}.$$

Заменяя в этом выражении Z_{R1} на Z_1 , т.е. подставляя (1) в это выражение, имеем

$$Z_P = \frac{Z_1 + l_R \operatorname{tg} \alpha + Z_R \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}. \quad (6)$$

Можно определить отклонение нормального луча от точки преломления в покрывающей нарушение среде:

а) без учета преломления на линии нарушения

$$l_0 = Z_P \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{Z_1 + l_R \operatorname{tg} \alpha + Z_R \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi} \operatorname{tg} \varphi, \quad (7)$$

б) с учетом преломления на этой линии

$$l_P = Z_P \cdot \operatorname{tg}(\alpha - i) = \frac{Z_1 + l_R \operatorname{tg} \alpha + Z_R \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi} \operatorname{tg}(\alpha - i), \quad (8)$$

здесь i – угол преломления нормального сейсмического луча на линии нарушения (плоскости сбрасывателя), который определяется из следующего выражения:

$$i_1 = \arcsin \left[\frac{v_1}{v_2} \sin(\alpha - \varphi) \right].$$

Таким образом, общее отклонение (миграция) нормального луча от точки отражения R равно:

а) без учета преломления

$$l_{0\Sigma} = l_0 + \delta x = Z_R \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

б) с учетом преломления

$$l_{P\Sigma} = l_P + \delta x. \quad (9)$$

Подставив в (9) выражения (4) и (8), получим

$$l_{P\Sigma} = \frac{(Z_1 + l_R \operatorname{tg} \alpha) [\operatorname{tg}(\alpha - i_1) - \operatorname{tg} \varphi] + Z_R \operatorname{tg} \varphi [\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg}(\alpha - i_1) + 1]}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}. \quad (10)$$

Отклонение (миграция) сейсмического луча за счет преломления равно

$$\Delta l = l_{P\Sigma} - l_{0\Sigma} = l_P - l_0.$$

Учитывая, что $l_P = Z_P \cdot \operatorname{tg}(\alpha - i)$ и $l_0 = Z_P \cdot \operatorname{tg} \alpha$:

$$\begin{aligned} \Delta l &= Z_P [\operatorname{tg}(\alpha - i_1) - \operatorname{tg} \varphi] = \\ &= \frac{Z_1 + l_R \operatorname{tg} \alpha + Z_R \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi} [\operatorname{tg}(\alpha - i_1) - \operatorname{tg} \varphi]. \end{aligned} \quad (11)$$

Наконец удаление точки выхода нормального луча, отраженного от точки $R(l_R, Z_R)$ на отражающей границе от начала координат с учетом преломления на промежуточной границе (т.е. плоскости сбрасывателя), равно

$$l = l_R + l_{P\Sigma} = l_R + \frac{(Z_1 + l_R \operatorname{tg} \alpha) [\operatorname{tg}(\alpha - i_1) - \operatorname{tg} \varphi] + Z_R \operatorname{tg} \varphi [\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg}(\alpha - i_1) + 1]}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}. \quad (12)$$

Время прихода отраженной волны вдоль этого нормального луча в пункт приема S , находящегося на расстоянии l от начала координат, равно

$$t = 2 \left[\frac{Z_R - Z_P}{v_2 \cos \varphi} + \frac{Z_P}{v_1 \cos(\alpha - i)} \right], \quad (13)$$

здесь

$$Z_P = \frac{Z_1 + l_R \operatorname{tg} \alpha + Z_R \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}, \quad (14)$$

$$Z_R - Z_P = \frac{Z_R - Z_1 - l_R \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}. \quad (15)$$

Если эти последние два выражения (14) и (15) поставить в формулу (13), то получим

$$t = 2 \left[\frac{Z_R - Z_1 - l_R \operatorname{tg} \alpha}{v_2 \cos \varphi (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi)} + \frac{Z_1 + l_R \operatorname{tg} \alpha + Z_R \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}{v_1 \cos(\alpha - i) (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi)} \right]. \quad (16)$$

В частном случае, если точка отражения R находится под началом координат, выражения (12) и (16) существенно упрощаются: $l_R = 0$; $Z_R = Z_1$; $Z_{R2} = Z_2$; $l = l_P + \delta x$ и

$$l = \frac{Z_1 [\operatorname{tg}(\alpha - i) - \operatorname{tg} \varphi] + Z_R \operatorname{tg} \varphi [\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg}(\alpha - i) + 1]}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}, \quad (17)$$

$$t = 2 \left[\frac{Z_R - Z_1}{v_2 \cos \varphi (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi)} + \frac{Z_1 + Z_R \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi}{v_1 \cos(\alpha - i) (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi)} \right].$$

Выражения (17) являются параметрическими уравнениями осей синфазности нормальных отражений преломленных в промежуточной границе (т.е. на плоскости сбрасывателя нарушения).

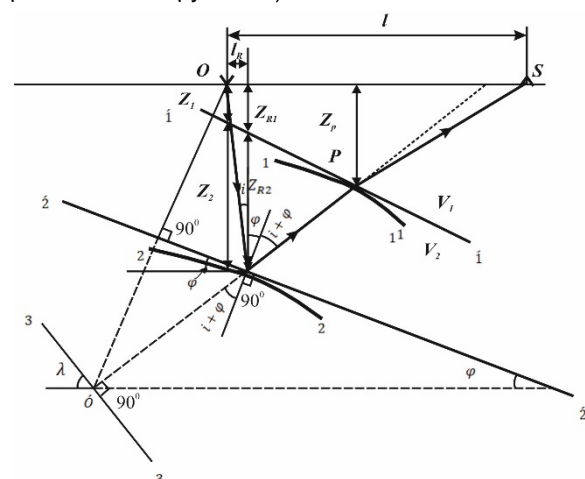


Рис. 2. Модель двуслойной среды с отражающей и промежуточной преломляющей границами произвольной формы

Теперь выведем уравнения годографов общей точки взрыва (ОТВ) отраженной волны, восходящие лучи которой преломляются на линии нарушения. Воспользуемся уравнением годографа нормальных изображений, преломленных на линии нарушения. Луч волны, отразившейся на точке Р, примем как луч нормального отражения от фиктивной границы (3 – 3) с углом наклона λ и проходящего через точку Р. Из рис. 2 видно, что

$$\lambda = 90^\circ - \beta; \beta = 90^\circ - (e + 2\varphi); \lambda = e + 2\varphi, \quad (18)$$

здесь угол e определяется координатами l_R и Z_R точки Р: $e = \arctg \frac{l_R}{Z_R}$; угол φ является углом наклона касательной к отражающей границе в точке Р.

Естественно, что время вдоль луча, исходящего из источника (т.е. начала координат) и отразившегося на точке Р, приходящего в пункт приема С, преломляясь в промежуточной границе, равняется

$$t = t_D + t_R, \quad (19)$$

здесь t_D – время пробега падающей волны вдоль луча ОР

$$t_D = \frac{OR}{v_2} = \frac{1}{v_2} \sqrt{l_R^2 + Z_R^2},$$

t_R – время пробега преломленной на промежуточной границе волны вдоль луча

$$t_R = \frac{Z_R - Z_P}{v \cos \lambda} + \frac{Z_P}{v_1 \cos(\alpha - i)}, \quad (20)$$

подставив выражения для Z_P и $Z_R - Z_P$, т.е. (14) и (15) в (20) и заменив угол наклона φ фиктивным углом λ , получим

$$t_R = \frac{Z_R - Z_1 - l_R \tan \alpha}{v_2(1 + \tan \alpha \tan \lambda) \cos \lambda} + \frac{Z_1 + l_R \tan \alpha + Z_R \tan \alpha \tan \lambda}{v_1(1 + \tan \alpha \tan \lambda) \cos(\alpha - i_1)}. \quad (21)$$

И наконец, объединяя выражения t_D и t_R , находим время

$$t = \frac{1}{v_2} \sqrt{l_R^2 + Z_R^2} + \frac{1}{v_1} \frac{Z_1 + l_R \tan \alpha + Z_R \tan \alpha \tan \lambda}{(1 + \tan \alpha \tan \lambda) \cos(\alpha - i_1)} + \frac{1}{v_2} \frac{Z_R - Z_1 - l_R \tan \alpha}{(1 + \tan \alpha \tan \lambda) \cos \lambda}. \quad (22)$$

Учитывая вышеприведенные обозначения и используя выражение (12), для абсциссы пункта приема С, т.е. для l , получим следующее выражение:

$$l = l_R + \frac{(Z_1 + l_R \tan \alpha)[\tan(\alpha - i_1) - \tan \lambda] + Z_R \tan \alpha [\tan \alpha \tan(\alpha - i_1) + 1]}{1 + \tan \alpha \tan \lambda}. \quad (23)$$

Результаты исследований. Выражения (22) и (23) являются уравнениями в параметрическом виде годографа ОТВ отраженной в целевом горизонте волны, восходящий луч которой преломляется на плоскости сбрасывателя нарушения при возвращении на поверхность земли. Очевидно, что можно легко решить прямую задачу, т.е. рассчитать годографы $t = f(\lambda)$, задав положения отражающей и преломляющей промежуточной границ. Эти выражения не могут быть использованы для годографов ОГТ, т.к. для данного случая невозможно составить единое уравнение, но можно сказать, что и годографы ОГТ тоже имеют два отрезка разной кривизны в разных сторонах от линии нарушения (*Недосекин и др., 2018; Charlotte et al., 2018*).

На рис. 3 приводятся отрезки годографов отраженной волны, восходящий луч которой преломляется на промежуточной границе (т.е. на линии нарушения), рассчитанных для простых моделей среды.

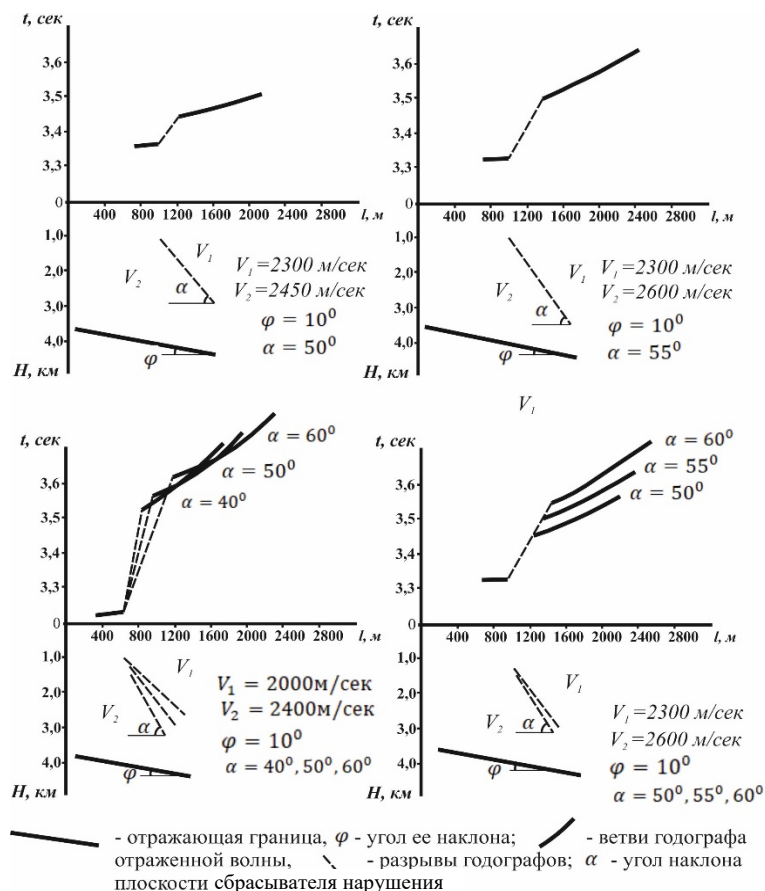


Рис. 3. Годографы ОТВ для различных моделей среды

Методика улучшения прослеживания сейсмических горизонтов в нарушенных зонах была применена на данных сейсморазведки 3D на одной из площадей Апшеронского полуострова, старейшего нефтегазоносного

региона Азербайджана, названного нами условно Хасилат. Эта площадь изучалась неоднократно сейсморазведкой, но детальное строение ее, особенно по глубоко залегающим отложениям нижнего плицена, миоцена и верхнего мела, оставалось недостаточно изученным.

На сейсмическом временном разрезе Inline 464 (рис. 5) выделен перспективный интервал в нижней части разреза, который осложнен нарушением с плоскостью сбрасывателя с большим наклоном к горизонту. Качество сейсмического материала и характер волнового поля хорошо иллюстрирует фрагмент временного разреза по этому профилю, отстрелянному на площади Хасилат (рис. 5, а), где выделяется зона сложной сейсмической информации около нарушения. После того как

выборка трасс в переходной зоне производилась с учетом преломления восходящего сейсмического луча по принципу ОСТ, были получены хорошие результаты (рис. 5, б). Как видно из рис. 5, б, зона сложной сейсмической информации почти исчезла и прослеживание горизонтов около нарушения существенно улучшилось, что позволило провести уверенную корреляцию целевых горизонтов. Это хорошо видно на фрагменте временного слайса (или разреза) вдоль линии Inline 464.

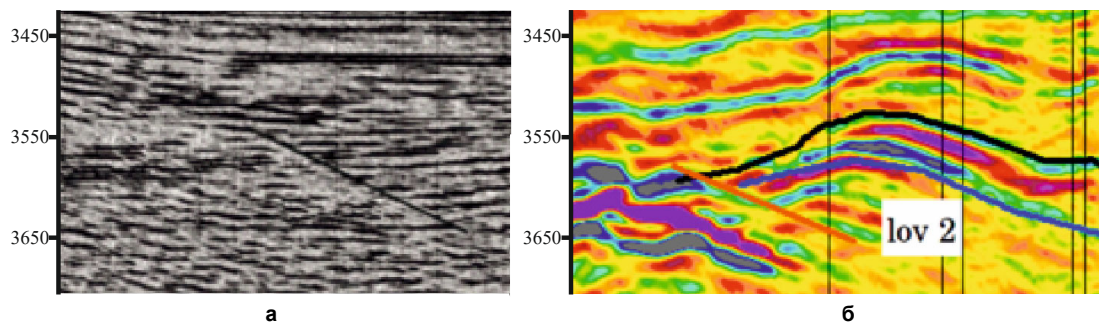


Рис. 5. Фрагмент временного разреза по линии 464

Заключение. Всесторонний анализ представленных годографов позволяет выявить следующие их свойства:

- при прохождении через базы приема сейсмических волн над нарушенной зоной годограф отраженной волны делится на два отрезка, имеющие разные кривизны и разные сдвиги во времени относительно друг друга (в зависимости от различия скоростных разрезов в ту или иную сторону от линии нарушения). Все это создает впечатление, что эти отрезки не относятся к одному и тому же годографу;
- неучет этого явления над нарушенной зоной приводит к тому, что оптимизация сумм по принадлежности к ОГТ (ОСТ) не дает желаемых результатов, корреляция сейсмических горизонтов ухудшается, и размеры зоны сложной сейсмической информации увеличиваются. Учет преломления восходящего луча отраженной волны на плоскости сбрасывателя нарушения позволяет уменьшить размеры этой зоны и провести уверенную корреляцию горизонтов.

Список использованных источников

- Ахмедов, Т.Р., Багиров, Н.О. (2010). Выявление и прослеживание разрывных нарушений сейсмическим атрибутивным анализом. *Geophysics News in Azerbaijan*, 3, 3–8.
- Корольков, Ю.С., Мушин, И.А., Чернов, А.А. (2001). Выявление и картирование дизъюнктивных дислокаций методами разведочной геофизики. Монография. М.: Науч. мир.
- Кушнарев, И.П. (1977). Методы изучения разрывных нарушений. Монография. М.: Недра.
- Личагина, Л.А., Судакова, В.В., Хасанов, Р.Н. (2009). Моделирование геологических объектов Уренского месторождения нефти на основе комплексного анализа материалов сейсморазведки и бурения. Получено с <http://www.oilnews.ru/>.
- Лавров И.В., Папухин, С.П. и др. (2017). Выявление дизъюнктивных нарушений комплексом геологических и геофизических методов с целью поиска ловушек нефти и газа. *Территория Нефтегаз*, 10, 38–45.
- Недосекин, А.С., Лукашов, А.В., Смирнов, О.А. и др. (2018). Выделение и трассирование дизъюнктивных дислокаций на базе сейсморазведки МОГТ-3D. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 10, 4–7.
- Charlotte, B., Nestor, C. et al. (2018). Seismic characterization of fault facies models. *Conference EGU General Assembly, Vienna*, 177.
- Marloes, K., Bastiaan, J. (2018). Improved definition of faults in the Groningen field using seismic attributes. *Netherlands Journal of Geosciences. Published online by Cambridge University Press: 17 January*, 96, 5, 7–85.
- Dave, H., Simon, L. (2012). 3D Seismic Image Processing for Faults and Horizons. *Telus Convention Centre – 8th Ave SE, Calgary*.
- Nur, Zulfah, Abdul, Kalid, Umar, Hamzah, Abdul, Rahim, Samsudin. (2016). Seismic attributes and their application in faults interpretation of Kupe Field, Taranaki Basin, New Zealand. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 21, 2169–2184.
- Hale, D. (2013) Methods to compute fault images, extract fault surfaces, and estimate fault throws from 3D seismic images. *Geophysics*, 78, 2, O33–O43. DOI: 10.1190/geo2012-0331.1
- Luo, S., Hale, D. (2013). Unfaulting and unfolding 3D seismic images. *Geophysics*, 78, 4, O45–O56. <https://doi.org/10.1190/geo2012-0350.1>
- Надійшла до редколегії 19.02.20**

T. Ahmadov, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,
E-mail: akhmedov.tofik@bk.ru,
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

FORM OF SEISMIC HORIZON ON TIME SECTION AND REFLECTED WAVE COMMON SHOT POINT TRAVEL TIME CURVE IN TRANSITION ZONE FOR THE CASE OF COMPLICATION OF TARGET HORIZON COVER BY FAULT

The paper is devoted to study of reflection pattern (seismic horizon) and CSP travel time curve of reflected wave when the base of seismic oscillations receivers is within transition zone, i.e. the portion of base is in one flank while the other part is already in the next flank. The equation has been derived for travel time curve of zero-offset survey, i.e. reflection pattern) for the case when target horizon cover is complicated by fault. The other equation derived is the equation of travelttime curve of CSP of reflected wave, which upgoing rays are refracted on the fault line. For this, we have used the equation of travelttime curve of normal reflections refracted on the fault line.

Based on derived formulae we have calculated travelttime curves of CSP for various models of environment. Analysis of these models has shown that while passing through seismic waves receiver base over the faulted zone the travel time curve is divided into two cuts with differing curvature and various time offsets relative to each other depending on velocity section difference from the fault line leading to the impression that these two cuts are not the sections of the same travel time curve.

Keywords: seismic survey, disjunctive displacements, zero-offset survey travel time curve, Common Shot Point travel time curve, transition zone.

Т. Ахмедов, д-р геол.-мінералог. наук, проф.,
E-mail: akhmedov.tofik@bk.ru,
Державний університет нафти і промисловості, м. Баку, Азербайджан

ФОРМА СЕЙСМІЧНОГО ГОРИЗОНТУ НА ЧАСОВОМУ РОЗРІЗІ Й ГОДОГРАФА ЗАГАЛЬНОЇ ТОЧКИ ВИБУХУ ВІДБИТОЇ ХВИЛІ В ПЕРЕХІДНІЙ ЗОНІ, КОЛИ СЕРЕДОВИЩЕ, ЯКЕ ПОКРИВАЄ ЦІЛЬОВИЙ ГОРИЗОНТ, УСКЛАДНЕНО ПОРУШЕННЯМ

Присвячено вивченню форм осі синфазності (сейсмічного горизонту) і годографа загальної точки вибуху (ЗТВ) відбитої хвилі, коли база прийому сейсмічних коливань перебуває в перехідній зоні, тобто частина бази є все ще в одному крилі, а інша частина переходить у наступне крило. Виведено рівняння годографа способу центральних променів (СЦП), тобто осей синфазності відображень, для випадку, коли середовище, яке покриває цільовий горизонт, ускладнено порушенням. Далі виведено рівняння годографів ЗТВ відбитої хвилі, висхідні промені якої переломлюються на лінії порушення. Для цього було використано рівняння годографа нормальних відображень, заломлених на лінії порушення.

Використовуючи виведені формули, були розраховані годографи ЗТВ для різних моделей середовища, аналіз яких показав, що при проходженні бази прийому сейсмічних хвиль над порушеною зоною годограф відбитої хвилі ділиться на два відрізки, що мають різні кривизни і різні зрушення у часі відносно один одного залежно від відмінності швидкісних розрізів у той чи інший бік від лінії порушення, і все це створює враження, що ці відрізки не належать до одного й того ж годографа.

Ключові слова: сейсмічна розвідка, диз'юнктивні дислокації, годограф СЦП, годограф ЗТВ, перехідна зона.

УДК 54.027:546.22:549.76:551.44
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.07>

М. Хом'як, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
E-mail: KhomNick98@gmail.com;
Львівський національний університет ім. Івана Франка,
Геологічний факультет, вул. Грушевського, 4, м. Львів, 79005, Україна;
Д. Малицький, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua;
О. Асташкіна, канд. геол. наук, наук. співроб.,
E-mail: sac1@ukr.net;
М. Махніцький, пров. інж.,
E-mail: caponerules@meta.ua;
С. Кравець, канд. геол. наук, наук. співроб.,
E-mail: sergiy@cb-igph.lviv.ua;
А. Микита, пров. інж.;
О. Грицай, канд. геол. наук, наук. співроб.;
Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Наукова, 3-б, м. Львів, 79060, Україна

РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ СЕЙСМІЧНИХ І ГЕОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЙСМІЧНОСТІ ЗАКАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. З.О. Вижвою)

Метою даної роботи є інтерпретація експериментальних даних (деформаційних, геоакустичних і параметрів вогнища землетрусу) і встановлення їхнього зв'язку із сейсмічністю Закарпатського регіону з використанням статистичного (регресійного) аналізу. Описано взаємозв'язки геофізичних параметрів, а саме: деформації, геоакустичної емісії та сейсмічних характеристик – магнітуди та енергетичного класу. Для побудови статистичної (регресійної) моделі використано геоакустичні й деформаційні дані за період 2014 р., а також дані сейсмологічного каталогу, надані відділом сейсмічності Карпатського регіону (Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України). Статистичну модель сейсмічності побудовано для того, щоб проаналізувати різні геофізичні параметри і за допомогою регресійного аналізу встановити їхній взаємозв'язок між собою. Цей взаємозв'язок дасть можливість зрозуміти, яким чином сейсмічність впливає на зміну тих чи інших параметрів середовища Закарпатського регіону. Деформаційні й геоакустичні дані, що використовуються в роботі, отримано на режимній геофізичній станції "Берегове" і пункті спостережень "Яноші" (Закарпаття). Приведено основні формули регресійного аналізу, які використовуються для побудови лінійної статистичної моделі. За даними із сейсмічного каталогу побудовано графік залежності між енергетичним класом (K) і магнітудою (MD) за період 2002–2016 рр., що підтвердило їхню залежність, а також побудовано гістограму сейсмічної активності за період 2002–2016 рр., з якої впливає, що найбільша кількість подій відбулася в 2015 р. Наведено таблиці, за якими побудовано графіки залежності сейсмічності від деформації та геоакустики. Показано залежність між магнітудою (MI) та поштовхом по розриву ($Ig DP$) за глибиною. Дослідження проводились для різних глибин: 1) до 2 км; 2) від 2–5 км; 3) від 5–10 км і 4) від 10 км і більше. Результати показали, що чим більша глибина, тим більше спостерігається залежність між MI та $Ig DP$. Такі дослідження потрібні для виявлення впливу сейсмічності на зміну інших параметрів середовища, зокрема температури, характеристик вогнищ землетрусів, що дасть змогу побудувати діючу модель сейсмічності Закарпатського регіону.

Ключові слова: регресійний аналіз, сейсмічність Закарпатського регіону, деформації, геоакустична емісія.

Вступ. Закарпаття – регіон України, де реєструються місцеві землетруси. Територія області належить до сейсмічно небезпечних ділянок земної кори. Для вивчення і прогнозування небезпечних явищ необхідно знати характеристики сучасного геодинамічного стану, які можна отримати, проводячи комплексні режимні геофізичні спостереження (Назаревич, 2011; Назаревич та Назаревич, 2002; Соболев та Пономарев, 1999; Починайко та ін., 1996). Деформаційні дані, які використано в роботі, записані лазерним деформографом на режимній геофізичній станції (РГС) "Берегове", а геоакустичні дані записані геоакустичною апаратурою ЗУА-6 на пункті спостережень (п.с.) "Яноші" (Малицький та ін., 2015, 2017).

Регресія є статистичною моделлю мінливості даних, що не обов'язково виявляє справжні причинно-наслідкові зв'язки у процесах чи явищах, яких стосуються ці вимірювання. Однак вона має служити меті проникнення в суть явищ, їхньому кількісному опису, а також є зручною на практиці, наприклад для прогнозних розрахунків з наперед відомою оцінкою вірогідності їхніх результатів. (Девіс, 1990; Хом'як, 2004; Малицький та ін., 2017).

Для розрахунків і побудови регресійної моделі сейсмічності ми використовуємо лінійну регресію, яка має такий вигляд (Девіс, 1990; Хом'як, 2004):

$$y(x) = a \cdot x + b, \quad (1)$$

де x , y – параметри регресії; a , b – коефіцієнти регресії.

У нашому випадку за змінну x відповідає масив значень для геоакустики G , а замість y – значення деформації D . Сталі величини a і b в рівнянні (1) потрібно визначити. (Девіс, 1990; Хом'як, 2004).

Головною властивістю рівняння регресії, яке ми використовуємо, є те, що вона мінімізує суму квадратів (дисперсію) відхилень точок на лінії від експериментальних даних, а саме:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y(x_i))^2 = \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Для визначення параметрів рівняння регресії використовується метод найменших квадратів. Виконавши диференціювання рівняння (2) по величинах a і b , отримаємо таку систему рівнянь (Девіс, 1990; Хом'як, 2004):

$$\frac{\partial f(a, b)}{\partial a} = \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i) x_i = 0 \Rightarrow \quad ; \quad (3)$$

$$\Rightarrow a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$\frac{\partial f(a, b)}{\partial b} = \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i) \cdot 1 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n 1 = \sum_{i=1}^n y_i$$

У матричному вигляді матимемо

$$\begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x_i y_i \\ \sum y_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

Із рівняння (4) визначаємо значення для параметрів рівняння регресії a і b (Хом'як, 2004).

Для перевірки нашої регресійної моделі сейсмічності взято дані зі сейсмічного каталогу, а саме енергетичний

клас (K) і магнітуду (MD) за період 2002–2016 рр., і побудовано залежність між ними (рис. 1). Енергетичний клас із магнітудою пов'язує така формула:

$$MD = a \times K - b. \quad (5)$$

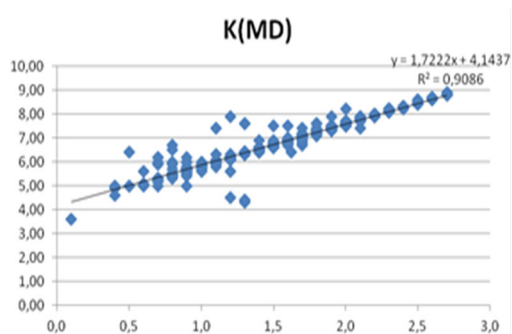


Рис. 1. Графік залежності між K і MD за період 2002–2016 рр., який отримано за регресійним аналізом, використовуючи дані з табл. 1

Отже, використавши регресійний аналіз до енергетичного класу (K) і магнітуди (MD), підтверджено їхній зв'язок.

Як ми відзначали, для статистичного аналізу ми використовуємо сейсмічні дані з каталогів землетрусів, у яких є такі параметри: магнітуда (MD), глибина залягання вогнища (h) і енергетичний клас (K) (табл. 1). Між енергетичним класом (K) і сейсмічною енергією (E) кожної події існує зв'язок (Вербицький та Назаревич, 2005)

$$K = \lg E. \quad (6)$$

У табл. 1 наведено фрагменти сейсмічних даних за період 2002–2016 рр.

За весь період із 2002 по 2016 рр. на території Закарпаття відбувся 571 землетрус.

На рис. 3 представлена гістограма сейсмічної активності з 2002 по 2016 рр.: вісь ординат – кількість подій N , вісь абсцисс – час t .

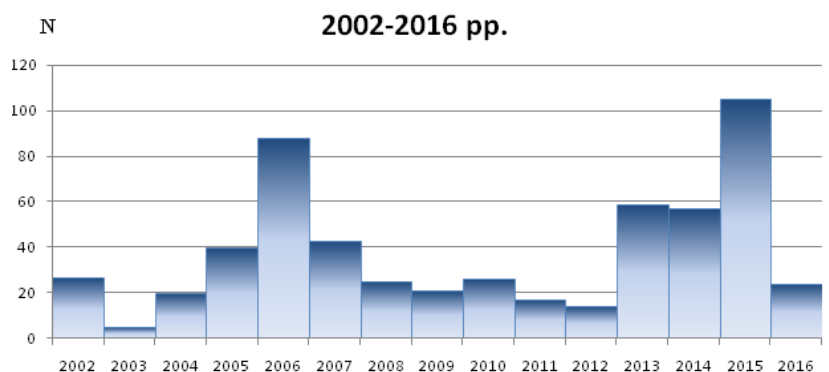


Рис. 2. Гістограма сейсмічної активності з 2002 по 2016 рр.

Згідно з гістограмою (рис. 4), найбільша сейсмічність спостерігалась у 2015 р.: зареєстровано 105 сейсмічних подій. Найменшу кількість подій зареєстровано в 2003 (тільки 5 сейсмічних подій). Також висока сейсмічна активність була в 2006 р., коли відбулось 88 подій.

У табл. 2 наведено дані, які використано для побудови лінійної регресійної моделі. Значення першої колонки взято з каталогу, масив значень для акустики отримано на п. с. "Яноші", а значення деформацій – на РГС "Берегове".

На території Закарпаття протягом 2014 р. відбулося 57 сейсмічних подій з різною інтенсивністю. Для нашого

Таблиця 1

Приклад сейсмічних даних за період 2002–2016 років

Дата події	MD	K	h
07 лютого 2002 р.	1,7	7,4	6,0
14 лютого 2002 р.	2,1	7,4	6,0
13 березня 2002 р.	1,6	7,5	6,0
04 червня 2002 р.	0,7	6,2	6,0
09 серпня 2002 р.	2	8,2	6,0
10 вересня 2002 р.	1,1	7,4	32,0
10 вересня 2002 р.	1,3	4,3	6,0
10 вересня 2002 р.	1,3	4,4	6,0
10 вересня 2002 р.	0,4	4,6	6,0
10 вересня 2002 р.	0,7	6,0	6,0
10 вересня 2002 р.	0,4	4,9	6,0
10 вересня 2002 р.	0,8	6,7	6,0
13 вересня 2002 р.	0,5	6,4	6,0
13 вересня 2002 р.	0,4	5,0	6,0
.....			
15 січня 2016 р.	1,0	5,6	6,0
27 січня 2016 р.	1,5	6,6	2,0
13 березня 2016 р.	0,9	5,8	6,0
06 квітня 2016 р.	1,6	6,7	7,1
14 квітня 2016 р.	0,7	5,9	5,2
18 травня 2016 р.	0,8	5,7	2,0
17 червня 2016 р.	1,4	6,9	6,6
30 червня 2016 р.	1,9	7,9	5,0
03 липня 2016 р.	1,1	5,8	2,0
16 липня 2016 р.	0,8	5,9	2,0
31 серпня 2016 р.	0,9	5,7	13,1
01 жовтня 2016 р.	1,8	7,6	1,0
12 жовтня 2016 р.	1,1	6,0	5,0
31 жовтня 2016 р.	0,9	5,4	2,0
08 листопада 2016 р.	0,8	5,3	2,0
08 листопада 2016 р.	1,2	5,6	5,0
27 листопада 2016 р.	1,3	6,4	2,0
28 листопада 2016 р.	1,7	6,9	2,0
29 листопада 2016 р.	0,7	5,2	12,2
03 грудня 2016 р.	1,1	6,3	2,0
07 грудня 2016 р.	0,9	6,0	2,0
12 грудня 2016 р.	1,2	4,5	2,0
13 грудня 2016 р.	1,5	6,9	2,0
24 грудня 2016 р.	1,4	6,5	2,0

дослідження нами було взято 29 із них; це пов'язано з відсутністю даних за січень і майже весь лютий для геоакустичних і майже весь листопад і грудень для деформаційних спостережень.

Визначимо значення для параметрів рівняння регресії a і b . Як результат для лінійного рівняння регресії (1) отримано такі значення для коефіцієнтів: $a = -0,028$, $b = 2,268$, а коефіцієнт регресії $R^2 \approx 0,1$. Варто зазначити, що для перевірки значущості коефіцієнта кореляції використовують заокруглення стосовно порівняння з 0,5. Таким чином, значення коефіцієнта кореляції $R \approx 0,3$ указує на існування кореляції між цими параметрами.

Таблиця 2
Геофізичні дані за період: березень – листопад 2014 р.
для побудови лінійної регресійної моделі
для Закарпатського регіону

Події за 2014 р.	G (геоакустика)	D (деформації)
06.03	-0,63	2,31
16.03	-0,63	2,31
26.03	-0,31	2,30
29.03	-0,16	2,33
03.04	0,16	2,36
07.04	-1,25	2,41
12.04	-1,56	2,39
26.04	1,09	2,43
28.04	-0,78	2,42
29.04	-0,78	2,44
23.05	1,88	2,35
26.05	2,19	2,34
27.05	2,03	2,34
28.05	1,72	2,33
02.06	-2,34	2,31
04.06	-2,19	2,30
07.06	-1,88	2,29
08.06	-1,56	2,30
10.06	-1,56	2,31
30.06	-0,16	2,25
09.08	-1,09	2,18
19.08	-1,25	2,16
24.08	0,78	2,19
10.09	-0,47	2,17
06.10	1,88	2,12
24.10	-1,56	2,05
31.10	2,97	2,03
01.11	2,81	2,02
03.11	2,97	2,02

На рис. 1 наведено графік взаємозв'язку між геоакустикою та деформаціями за 2014 рік, який отримано за статистичним аналізом на фоні сейсмічності регіону.

На рис. 4 наведено графік взаємозв'язку між геоакустикою та деформаціями за три місяці (із серпня по листопад 2014 р., середньодобові значення).

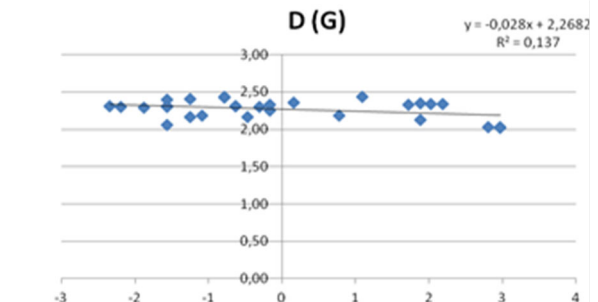


Рис. 3. Графік кореляції між D і G із сейсмічністю (табл. 1)

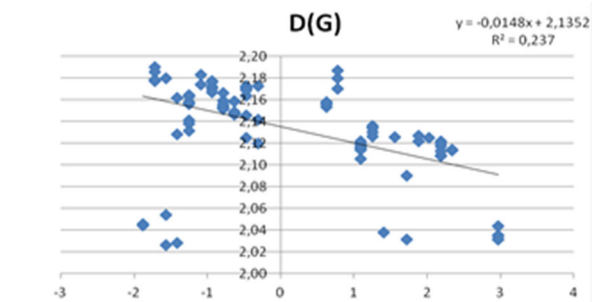


Рис. 4. Графік кореляції між D і G за три місяці (середньоденні значення)

На рис. 5 показано, як змінювались деформаційні дані (D) (рис. 5, а) і геоакустичні дані G (рис. 5, б) із часом за період 8 місяців 2014 року. Для побудови цих графіків використано дані з березня по листопад 2014 р.

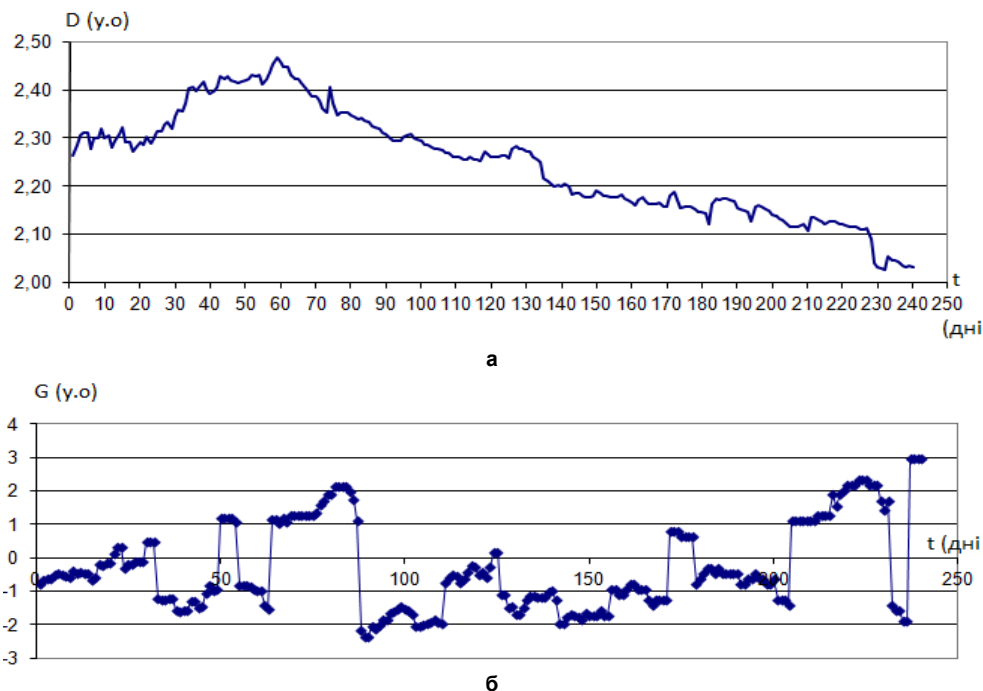


Рис. 5. Графік зміни (а) деформаційних даних (D) і (б) геоакустичних даних (G) із часом (t) за період 8 місяців 2014 р.

Наступний етапом досліджень є застосування регресійної моделі сейсмічності до параметрів вогнища землетрусу. Нами розглянуто 50 землетрусів за 2012–2014 рр. та визначено їхні параметри (DP – посувка по розриву, L, D, A – довжина, ширина і площа розриву відповідно та ін.).

Нижче наведено графіки, на яких показано залежність між посувкою по розриву DP і магнітудою MI (рис. 6). Сейсмічні події були розбиті на чотири групи залежно від глибини (до 2 км, від 2 до 5 км, від 5 до 10 км, від 10 км і більше) (Thingbaijam et al., 2017).

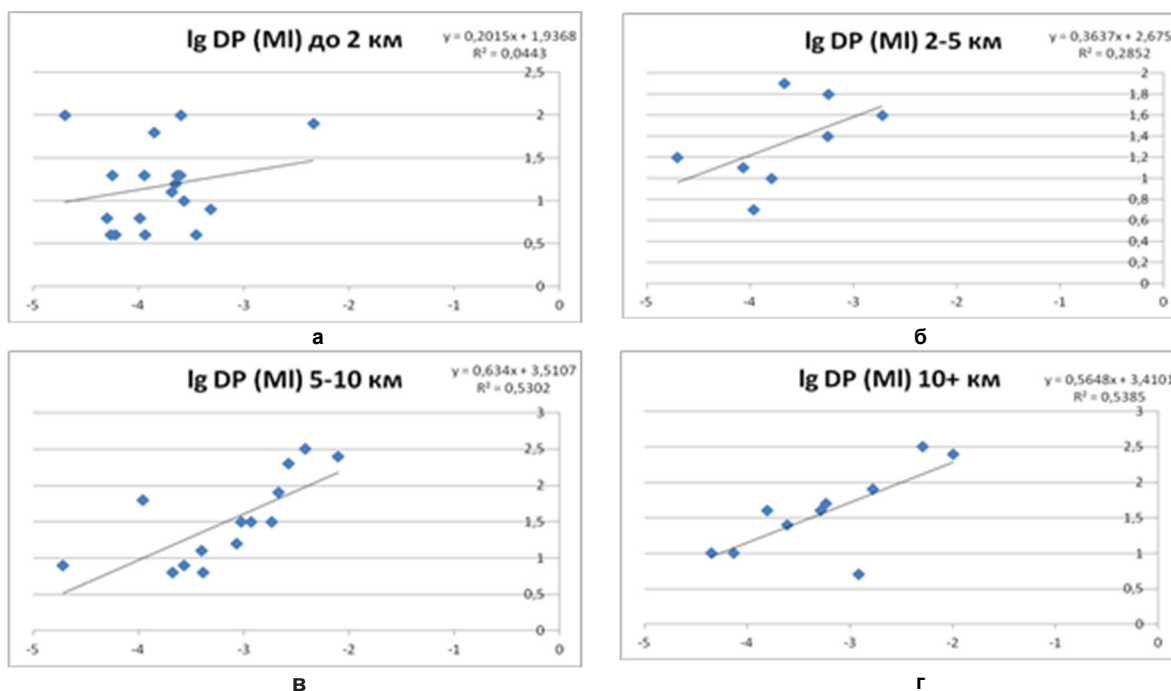


Рис. 6. Графік кореляції між середньою посушкою по розриву (lgDP) і магнітудою (MI) на глибинах:
а – до 2 км; б – від 2 до 5 км; в – від 5 до 10 км; г – більше ніж 10 км

Висновки. Використовуючи сейсмічний каталог за період 2002–2016 рр., побудовано графіки залежності між геоакустикою і деформаціями, і магнітудою та енергетичним класом, а також наведено гістограму сейсмічної активності за даний період. На основі регресійного аналізу підтверджено залежність магнітуди від енергетичного класу. Застосувавши статистичний (регресійний) аналіз до геоакустичних і деформаційних даних, підтверджено взаємозв'язок між ними. Отримано результати регресійного аналізу між посушкою по розриву і магнітудою, що показують: чим більша глибина залягання вогнища, тим більший коефіцієнт детермінації. У подальшому такі дослідження потрібні для виявлення впливу сейсмічності на зміну інших параметрів середовища, зокрема температури, характеристик вогнищ землетрусів, що дасть змогу побудувати діючу модель сейсмічності Закарпатського регіону.

Список використаних джерел

- Вербицький, Т.З., Назаревич, А.В. (2005). Деформографічні і геоакустичні дослідження у Закарпатті. Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. Під ред. В.І. Старостенка. Київ: Наук. думка, 113–131.
- Девіс, Дж. (1990). Статистический анализ данных в геологии. У 2 кн. М.: Недра.
- Малицький, Д., Назаревич, А., Асташкіна, О., Коваль, Ю., Махніцький М., (2015). Геоакустичні спостереження на пункті "Яноші" у Закарпатті. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 1(68), 39–43.
- Малицький, Д., Хом'як, М., Асташкіна, О., Махніцький, М., Микита, А., Кутнів, О., Коваль, Ю. (2017). Лінійна регресійна модель як частина геофізичного моніторингу сейсмотектонічних процесів Карпатського регіону. *Матеріали наукової конференції-семінару "Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах"*, Львів: Сполом, 30–34.
- Назаревич, А.В. (2011). Методико-апаратні проблеми моніторингових геофізичних досліджень та шляхи їх розв'язання (на прикладі геофізичного сейсмопрогностичного моніторингу в Закарпатті). *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 55, 57–60.
- Назаревич, А.В., Назаревич, Л.Є. (2002). Параметричні сейсмогеоакустичні методи і комплексні технології моніторингу природних і техногенних геодинамічних процесів та прогнозу катастроф. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 23–24, 43–47.
- Починайко, Р., Микита, А., Лудзян, Л. (1996). Приймання супутникової інформації в системі геодинамічного моніторингу. *Зб. тез міжнар. симпозіуму "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища"*, Алушта–Львів, 16.

Соболев, Г.А., Пономарев, А.В. (1999). Акустическая эмиссия и стадии подготовки разрушения в лабораторном эксперименте. *Вулканология и сейсмология*, 4–5, 50–62.

Хом'як, М.М. (2004). Геостатистика. Ч. 2. Вступ до дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізу. Львів: Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка.

Thingbaijam, KKS, Mai, P.M., Goda, Katsuichiro. (2017). New Empirical Earthquake Source-Scaling Laws. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107, 5, 2225–2246.

References

- Devis, Dzh. (1990). Statisticheskiy analiz dannykh v geologii. In 2 books. M.: Nedra. [in Russian]
- Hom'yak, M.M. (2004). Geostatistika. Prt. 2. Vstup do dispersynogo, korelyatsynogo ta regresynogo analizu. Lviv: Vidavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka. [in Ukrainian]
- Malitskiy, D., Hom'yak, M., Astashkina, O., Mahnlitskiy, M., Mikita, A., Kutniv, O., Koval, Yu. (2017). Linynya regresylna model yak chastina geofizichnogo monitringu seysmotektonichnih protsesiv Karpatskogo regionu. *Materiالي naukovoyi konferentsiyi-seminaru "Seysmologichni ta geofizichni doslidzhennya v seysmoaktivnih regionah"*, Lviv: Spolom, 30–34. [in Ukrainian]
- Malitskiy, D., Nazarevich, A., Astashkina, O., Koval, Yu., Mahnlitskiy, M., (2015). Geoakustichni sposterezhennya na punkti "Yanoshi" u Zakarpatti. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(68), 39–43. [in Ukrainian]
- Nazarevich, A.V. (2011). Metodiko-aparaturni problemi monitringovih geofizichnih doslidzhen ta shlyahi yih rozv'yazannya (na prikladі geofizichnogo seysmoprognostichnogo monitringu v Zakarpatti). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 55, 57–60. [in Ukrainian]
- Nazarevich, A.V., Nazarevich, L.E. (2002). Parametrichni seysmogeakustichni metodi i kompleksni tehnologiyi monitringu prirodnih ta tehnogennih geodinamichnih protsesiv ta prognozu katastrof. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 23–24, 43–47. [in Ukrainian]
- Pochinayko, R., Mikita, A., Ludzyan, L. (1996). Priymannya suputnikovoyi informatsiyi v sistemi geodinamichnogo monitringu. *Zb. tez mizhnar. simpoziumu "Geoinformatsiyniy monitring navkolishnogo seredovischa"*, Alushta–Lviv, 16. [in Ukrainian]
- Sobolev, G.A., Ponomarev, A.V. (1999). Akusticheskaya emissiya i stadii podgotovki razrusheniya v laboratornom eksperimente. *Vulkanologiya i seysmologiya*, 4–5, 50–62. [in Ukrainian]
- Thingbaijam, KKS, Mai, P.M., Goda, Katsuichiro. (2017). New Empirical Earthquake Source-Scaling Laws. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107, 5, 2225–2246.
- Verbitskiy, T.Z., Nazarevich, A.V. (2005). Deformografichni i geoakustichni doslidzhennya u Zakarpatti. *Doslidzhennya suchasnoyi geodinamiki Ukrainy Karpat*. Eds. V.I. Starostenko. Kyiv: Nauk. dumka, 113–131. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 29.04.20

M. Homyak, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.,
E-mail: KhomNick98@gmail.com;
Faculty of Geology, Ivan Franko Lviv National University,
4 Grushevskogo Str., Lviv, 79005, Ukraine;
D. Malitskiy, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua;
O. Astashkina, Cand. Sci. (Geol.), Researcher,
E-mail: sac1@ukr.net;
M. Makhnitskiy, Leading Engineer,
E-mail: caponerules@meta.ua;
S. Kravets, Cand. Sci. (Geol.), Researcher,
E-mail: sergiy@cb-igph.lviv.ua;
A. Mykyta, Leading Engineer;
O. Grycai, Cand. Sci. (Geol.), Researcher;
Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine,
3-b Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine

REGRESSION ANALYSIS OF THE SEISMIC AND GEOPHYSICAL PARAMETERS AND ITS APPLICATION FOR SEISMICITY STUDY OF THE TRANSCARPATHIAN REGION

The purpose of this work is to interpret the experimental data (deformation, geoacoustic and earthquake parameters) and to establish their relation with the seismicity of the Transcarpathian region using statistical (regression) analysis. The correlation of geophysical parameters is described, namely: deformation, geoacoustic emission and seismic characteristics of magnitude and energy class. For construction of the statistical (regression) model, geoacoustic and deformation data for the period of 2014, as well as data of the seismological catalog provided by the seismicity department of the Carpathian region (Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine) were used. The statistical model of seismicity is built to analyze various geophysical parameters and to establish their relationship with each other by means of regression analysis. This interconnection will give an opportunity to understand how seismicity influences the change of various environmental parameters of the Transcarpathian region. The deformation and geoacoustic data used in the work were obtained at the mode geophysical station (MGS) "Beregove" and the observation point "Janoshi" (Transcarpathia). The basic regression analysis formulas used to construct a linear statistical model are given. According to the seismic catalog, a graph of dependence between energy class (K) and magnitude (MD) for the period 2002–2016 was constructed, which confirmed their dependence, as well as a histogram of seismic activity for the period 2002–2016, from which it follows that the largest number of events was in 2015. The tables, on which graphs of seismicity dependence on deformation and geoacoustics, are presented. The relationship between the magnitude (MI) and the offset shift (lg DP) in depth (h) is shown. Studies were conducted for different depths: 1) up to 2 km, 2) from 2–5 km, 3) 5–10 km and 4) from 10 km or more. The results showed that the greater the depth, the greater the relationship between the magnitude (MI) and the offset shift (lg DP) is. Such studies are needed to identify the effect of seismicity on the change of other environmental parameters, in particular, temperature, characteristics of earthquake foci, which will allow building an existing model of seismicity of the Transcarpathian region.

Keywords: regression analysis, seismicity of Transcarpathian region, deformation, geoacoustic emission.

Н. Хомяк, канд. физ.-мат. наук, доц.,
E-mail: KhomNick98@gmail.com;
Геологический факультет, Львовский национальный университет им. И. Франко,
ул. Грушевского, 4, г. Львов, 79005, Украина;
Д. Малицкий, д-р физ.-мат. наук, проф.,
E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua;
А. Асташкина, канд. геол. наук, науч. сотр.,
E-mail: sac1@ukr.net;
Н. Махницкий, вед. инж.,
E-mail: caponerules@meta.ua;
С. Кравец, канд. геол. наук, науч. сотр.,
E-mail: sergiy@cb-igph.lviv.ua;
А. Мыкыта, вед. инж.;
О. Грицай, канд. геол. наук, науч. сотр.;
Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
ул. Научная, 3-б, г. Львов, 79060, Украина

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗАКАРПАТСКОГО РЕГИОНА

Целью данной работы является интерпретация экспериментальных данных (деформационных, геоакустических и параметров очага землетрясения) и установление их связи с сейсмичностью Закарпатского региона с использованием статистического (регрессионного) анализа. Описаны взаимосвязи геофизических параметров, а именно: деформации, геоакустической эмиссии и сейсмических характеристик – магнитуды и энергетического класса. Для построения статистической (регрессионной) модели, использованы геоакустические и деформационные данные за период 2014 г., а также данные сейсмологического каталога, предоставленные отделом сейсмичности Карпатского региона (Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины). Статистическая модель сейсмичности построена для того, чтобы проанализировать различные геофизические параметры и с помощью регрессионного анализа установить их взаимосвязь между собой. Эта взаимосвязь дает возможность понять, каким образом сейсмичность влияет на изменение тех или иных параметров среды Закарпатского региона. Деформационные и геоакустические данные, используемые в работе, получены на режимной геофизической станции "Берегово" и пункте наблюдений "Яноши" (Закарпатье). Приведены основные формулы регрессионного анализа, которые используются для построения линейной статистической модели. По данным из сейсмического каталога построен график зависимости между энергетическим классом (K) и магнитудой (MD) за период 2002–2016 гг., а также построена гистограмма сейсмической активности за период 2002–2016 гг., из которой видно, что наибольшее количество событий приурочено к 2015 г. Приведены таблицы, на основе которых построены графики зависимости сейсмичности от деформаций и геоакустики. Показана зависимость между магнитудой (MI) и подвижкой по разрыву (lg DP) для различных глубин: до 2 км; от 2 до 5 км; от 5 до 10 км и от 10 км и более. Результаты показали, что чем больше глубина, тем сильнее зависимость между MI и lg DP. Такие исследования нужны для выявления влияния сейсмичности на изменение таких параметров среды, как температура и характеристики очагов землетрясений, что позволит построить действующую модель сейсмичности Закарпатского региона.

Ключевые слова: регрессионный анализ, сейсмичность Закарпатского региона, деформации, геоакустическая эмиссия.

ГЕОЛОГІЯ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 553:332.122.5(477)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.08>Л. Горошкова¹, д-р екон. наук, проф.,

E-mail: goroshkova69@gmail.com;

Є. Хлобистов², д-р екон. наук, проф.,

E-mail: ievgen.khlobystov@ukr.net;

В. Волков¹, д-р техн. наук, проф.,

E-mail: volkovvp49@gmail.com;

¹Запорізький національний університет,

вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна;

²Національний університет "Києво-Могилянська академія",

вул. Г. Сковороди, 2, м. Київ, 04655, Україна

ЦИКЛІЧНІСТЬ ВУГЛЕВИДОБУВАННЯ В УКРАЇНІ
ТА ПОТЕНЦІАЛ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ

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

У результаті проведених досліджень сформовано механізм управління сталим розвитком вугільної галузі України. Однією із проблем вугільної галузі є суттєві втрати при видобутку вугілля. Установлено, що резервом підвищення ефективності функціонування галузі, за умови більш ощадливого ставлення до ресурсів, є інвестування в реконструкцію шахт. Уповільнення розвитку вугільної галузі є наслідком бойових дій в Донецькій та Луганській областях. Показана неефективність транспортного забезпечення щодо вугільних ресурсів, що імпортується в Україну, оскільки перевага віддається залізничному транспорту замість більш дешевого – морського внаслідок недорозвиненості відповідної портової інфраструктури.

Доведено, що забезпечити раціональне використання вугільних ресурсів України можливо шляхом збалансування видобутку, виробництва вугільної сировини та подальшого їхнього використання в наступних виробничих процесах. Такими процесами щодо коксівного вугілля є виробництво металу, а щодо антрациту – теплової енергії. Проведено дослідження взаємозв'язку темпів зростання обсягів видобутку та виробництва вугілля коксівного, виробництва коксу, експорту та імпорту коксу і виробництва чавуну в 2008–2017 рр.

Доведено, що імпорт коксівного вугілля суттєво залежить від цінової кон'юнктури і практично не пов'язаний з потребами металургійної галузі України. Показано, що система управління раціональним використанням потенціалу країни щодо коксівного вугілля має включати збалансування потоків видобутку вугілля, виробництва коксу та напівкоксу залежно від потреб металургійної галузі країни з урахуванням циклічності її розвитку. Установлено необхідність узгодження обсягів видобутку, виробництва та споживання антрациту між собою та врахування наявності малих циклів розвитку теплоенергетики.

Ключові слова: мінерально-сировинна база, паливно-енергетичні ресурси, вугілля кам'яне, вугілля коксівне, антрацит, прогнозування, моделювання, управління.

Постановка проблеми. Вугільна промисловість традиційно є однією з провідних галузей національного господарства України, що посідає вагоме місце за обсягами виробництва, залученого капіталу та кількістю працівників. Водночас вона належить до категорії так званих "старих" галузей, поява та подальший розвиток яких вимірюється століттями. Наслідком цього є те, що найзручніші для великого промислового видобутку поклади вугілля на сьогодні вже вичерпано. На сучасному етапі до традиційних проблем галузі додалися додаткові обставини, обумовлені тривалим широкомасштабним збройним конфліктом у регіоні розміщення основної частини вітчизняних вугільних підприємств – на Донбасі.

Вугілля в Україні – єдина енергетична сировина, запасів якої потенційно достатньо для забезпечення енергетичної безпеки держави, але його видобуток останніми роками в країні суттєво знижується з політичних та економічних причин. На сьогодні дефіцит вугілля в Україні, що компенсується вимушеним імпортом, становить 27 %. Саме тому існує необхідність формування системи управління забезпеченням потреб країни у вугіллі за умови ощадливого ставлення до його видобування та раціонального використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам економіко-геологічного вивчення надр, надрокористування присвячені роботи І. Андрієвського, В. Бодюка, С. Довгого, М. Коржнева, М. Костенка, М. Красножона, Є. Куліша, М. Курило, О. Лисенка, В. Матюхи, В. Михайлова, В. Міщенко та ін. (Андрієвський та ін., 2011; Бордюк, 2013; Довгий та ін., 2007; Коржнев та ін., 2006; Красножон, 2014, 2015; Лисенко та ін., 2017; Михайлов та ін., 2006; Волков, Горошкова, 2013, 2014). Щодо публікацій, присвячених проблемам вугільної галузі України, то в них

розглядаються умови утворення і будови вугільних пластів і вугленосних формацій, природні типи, якість і властивості вугілля, досліджуються питання геологічної будови, вугленосності, якості вугілля, гірничо-геологічні умови розробки та ресурси вугільних басейнів і родовищ України (Нагорний, 2005), побудована балансово-оптимізаційна модель визначення обсягів власного видобутку вугілля та його імпорту (Білан, 2017), проведена оцінка ризиків освоєння родовищ вугілля з незначними запасами (Рудько, Бала, 2017; Рудько та ін., 2011), проведено обґрунтування ціни товарної продукції в геолого-економічній оцінці вугільних родовищ (Рудько та ін., 2018).

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Україна є енергетично залежною країною за багатьма видами енергоносіїв. Так, дефіцит вугілля, що компенсується вимушеним імпортом, становить 27 %, газу – 33 %, нафти та газоконденсату – 19 %, нафтопродуктів – 77 %, атомного палива – 100 %. Ситуація ускладнюється тим, що підтверджений обсяг запасів газу становить 591 000 млн куб. м (33 роки, на які вистачить запасів при поточному рівні видобування). Водночас Україна посідає сьоме місце у світі за обсягами запасів вугілля (його вистачить на 834 роки при поточному рівні видобування). Саме тому потребує розв'язання проблема управління збалансованим розвитком галузі – ощадливим видобуванням і раціональним використанням ресурсів вугільної галузі України.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розробка системного підходу до управління видобутком і використанням вугільних ресурсів України, що дозволить забезпечити сталий розвиток галузі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Загальні ресурси вугілля України становлять: 112,3 млрд т

© Горошкова Л., Хлобистов Є., Волков В., 2020

розвідані запаси – 51,9 млрд т; із них коксівного вугілля – 17,1 млрд т (30,5 %), антрацитів – 7,6 млрд т (13,5 %). Запаси вугілля коксівного та антрацитів становлять відповідно 31,5 % та 14,3 % від запасів кам'яного вугілля України (Примушко, 2018).

Основні запаси кам'яного вугілля України зосереджені у двох басейнах: Донецькому та Львівсько-Волинському. Балансові запаси кам'яного вугілля підраховані в основному на глибинах 1200–1400 м, іноді 1600–1700 м. Прогнозні й перспективні ресурси кам'яного вугілля підраховані до глибин 1800–2000 м.

Донецький вугільний басейн розташований на території Дніпропетровської, Донецької, Луганської та Харківської областей України, а також Ростовської області Російської Федерації. Кількість робочих пластів басейну досягає 120, із них близько 65 – в експлуатації. Глибина розробки вугільних пластів у басейні коливається від 200 до 1350 м і становить у середньому 730 м. За якістю вугілля варіюється від довгополум'яних сортів до антрациту.

Львівсько-Волинський басейн розташований у Львівській та Волинській областях і є південно-східним продовженням Люблінського басейну Польщі. Потужність кам'яновугільних покладів збільшується від 600 м на північному сході до 1200 м на південному заході. За марочним складом присутні такі види вугілля: довгополумєне газове, жирне, коксівне.

Запаси бурого вугілля України зосереджені переважно в Дніпровському і частково в Донецькому (Західний Донбас) басейнах. Дніпровський вугільний басейн розташований на територіях Житомирської, Черкаської, Кіровоградської, Дніпропетровської й частково Запорізької, Вінницької та Київської областей. Він простягнувся з південного сходу на північний захід майже на 650 км, шириною 70–175 км, і займає площу близько 100 тис. кв. км. На території басейну виявлено близько 200 родовищ (Примушко, 2017).

Відповідно до матеріалів слухань Спеціальної контрольної комісії ВР України з питань приватизації станом на 01.07.15 в Україні експлуатуються 150 шахт, з яких 69 не працюють через бойові дії, 7 зруйновані. Станом на 01.01.18 кількість шахт скоротилась до 148.

Із 90 шахт, підпорядкованих Міністерству енергетики та вугільної промисловості України, лише 33 розташовані на контрольованій Україною території, тоді як інші 55 (у т.ч. шахти, що видобувають вугілля антрацитової групи) перебувають на невідконтрольній території Донецької та Луганської областей. Із 35 контрольованих Україною шахт (які поза зоною ведення бойових дій) працюють 24 шахти (видобувають близько 21 тис. т на добу), 2 шахти працюють у режимі підтримання життєдіяльності (у режимі водовідливу). Загалом, за даними Міненерговугілля, на невідконтрольній території Донецької та Луганської областей розташовано 85 шахт усіх форм власності, що становить 57 % від їхньої загальної кількості по Україні. Із них на 60 шахтах видобувалося енергетичне вугілля, у т.ч. майже 100 % антрациту (Бобро, 2018; Шевченко, Воробйов, н.д.).

Отже, з метою визначення пріоритетів у системі управління галуззю доцільним є проведення аналізу взаємозв'язку між видобуванням, виробництвом і використанням вугільних ресурсів в Україні.

У табл. 1 наведено дані щодо обсягів видобутку та виробництва вугілля в Україні протягом 2007–2017 рр. Дані щодо видобутку вугілля (вугільної сировини) наведено ДНВП "Державний інформаційний геологічний фонд України" (Примушко, 2018). Обсяги виробництва вугілля, як кінцевої продукції, наводяться Державною службою статистики України у збірниках "Статистичний щорічник України", "Паливно-енергетичні ресурси України" та в Інформаційних довідках про основні показники

розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України за 2015–2018 рр. Результати їхнього порівняння наведено в табл. 1.

Аналіз наведених даних свідчить про те, що однією з проблем вугільної галузі, на нашу думку, є суттєві втрати при видобутку вугілля. Так, загальний рівень втрат кам'яного вугілля становить 20 %, частка втрат при видобутку коксівного вугілля становлять 25–30 %. Суттєве зниження втрати при видобутку антрациту можливо пояснити різким зменшенням загального обсягу його видобутку. Отже, резервом підвищення ефективності функціонування галузі за умови більш ощадливого ставлення до ресурсів, є впровадження заходів, що дозволять знизити рівень втрат вугілля у процесі його видобутку. Реалізація таких заходів потребує додаткового інвестування в реконструкцію шахт.

У збірнику Державної служби статистики України "Паливно-енергетичні ресурси України" виокремлюють дані щодо виробництва та експортно-імпорتنних операцій за такими позиціями: коксівне вугілля, вугілля інше/антрацит, кокс/дьюготь. Проаналізуємо дані (результати аналізу представлено у табл. 2–4).

Як бачимо, обсяги видобутку відрізняються від обсягів виробництва на величину втрат при видобутку. Обсяги імпорту коксівного вугілля протягом 2014–2017 рр. коливались, зменшувались у 2015 р., потім зросли в 2017 р. Обсяги експорту також спочатку знижувались і зросли в 2017 р. Загальний баланс коксівного вугілля рахувався як обсяг виробництва за вирахуванням експорту та додаванням імпорту. Як бачимо, у 2017 р. баланс збільшився, але був меншим за рівень 2014 р. Зазначені тенденції уповільнення розвитку галузі в 2015–2016 рр. можливо пояснити наявністю бойових дій у Донецькій та Луганській областях.

Аналіз даних табл. 3 свідчить про суттєве уповільнення обсягів видобутку антрациту. Причиною цього є те, що практично всі шахти з видобутку антрациту з початком бойових дій опинились на невідконтрольній Україні території. Унаслідок цього спостерігалось збільшення обсягів імпорту та зниження експорту. Зазначена ситуація негативно вплинула на загальний баланс антрациту в Україні, обсяги запасів знизились.

Вартість імпорту вугілля в 2017 р. – 2,43 млрд дол (за 11 місяців). Це майже вдвічі (у 1,87 рази) більше порівняно із тим же періодом 2016 р. За даними Державної фіскальної служби України, головним постачальником стала Росія – 1,37 млрд дол. (56,4 %); друге місце за США – 603,8 млн дол. (24,8 %); третє за Канадою – 149,9 млн дол. (6,2 %). З інших країн Україна імпортувала вугілля на 30,7 млн дол. За даними Міненерговугілля, за 10 місяців 2017 р. на вітчизняні ТЕС і ТЕЦ у фізичному вимірі було поставлено 3,37 млн т імпортного вугілля: з Росії – 2,59 млн т (76,75 %); із ПАР – 550 200 т (16,3 %); із Польщі – 119 000 т (3,5 %); із США – 114 500 т (3,4 %).

Щодо способу постачання, то 70 % – це залізничний транспорт. Морські перевезення використовуються тільки при імпорті із США та ПАР через порт "Південний". За 2017 р. він прийняв 16 суден для державних і приватних компаній загальним обсягом близько 1 млн т. На жаль, інші вітчизняні порти неспроможні забезпечити перевалку таких вантажів. Зазначені обставини негативно впливають на собівартість подальшої продукції, оскільки використовується більш дорогий вид транспорту – залізничний, замість найдешевшого – морського.

Торгова блокада окупованих територій з початку 2017 р. створює суттєву загрозу енергетичній безпеці країни, оскільки на окупованій території опинились як антрацитові, так і коксівні й газові шахти.

Таблиця 1

Динаміка обсягів видобутку та виробництва вугілля в Україні протягом 2007–2017 років

Рік	Обсяг видобутку кам'яного вугілля, млн т	Обсяг видобутку коксівного вугілля, млн т	Обсяг видобутку антрациту та іншого кам'яного вугілля, млн т	Обсяг виробництва вугілля кам'яного, млн т	Обсяг виробництва коксівного вугілля, млн т	Обсяг виробництва вугілля ін./антрациту, млн т	Частка втрат вугілля кам'яного в обсязі видобутку, %	Частка втрат коксівного вугілля в обсязі видобутку, %	Частка втрат антрациту в обсязі видобутку, %
2007	73,309	23,118	50,191	58,900	21,534	37,366	19,655	6,852	25,552
2008	72,912	21,952	50,960	59,500	19,776	39,724	18,395	9,913	22,049
2009	69,982	21,949	48,033	55,000	19,244	35,756	21,408	12,324	25,560
2010	71,365	22,075	49,290	55,000	17,688	37,312	22,931	19,873	24,301
2011	77,390	23,010	54,380	62,700	19,898	42,802	18,982	13,525	21,291
2012	79,537	23,984	55,553	65,500	20,879	44,621	17,648	12,946	19,679
2013	77,659	23,791	53,868	64,400	19,000	45,400	19,244	25,220	8,538
2014	57,467	18,332	39,135	45,900	12,022	33,208	20,128	34,421	15,145
2015	37,000	12,251	24,749	30,200	6,064	23,853	18,378	50,502	3,620
2016	39,929	13,091	26,838	31,600	6,509	25,122	22,873	35,184	5,697
2017	30,954	11,819	19,135	24,200	5,234	18,933	18,653	26,889	0,183

Таблиця 2

Динаміка обсягів видобутку, виробництва, експорту та імпорту коксівного вугілля в Україні протягом 2014–2017 років

Рік	Обсяг видобутку коксівного вугілля, млн т	Обсяг виробництва коксівного вугілля, млн т	Обсяг імпорту, млн т	Обсяг експорту, млн т	Темп зростання видобутку, %	Темп зростання імпорту, %	Темп зростання експорту, %	Баланс коксівного вугілля, млн т
2014	18,3320	12,022	9,706	1,448				20,280
2015	12,2510	6,064	5,748	0,494	50,44	59,22	34,12	11,318
2016	13,0910	6,509	8,109	0,336	107,34	141,08	68,02	14,282
2017	11,8190	5,234	9,510	0,560	80,41	117,28	166,67	14,184

Таблиця 3

Динаміка обсягів видобутку, виробництва, імпорту та експорту вугілля іншого та антрациту в Україні впродовж 2014 – 2017 рр.

Рік	Обсяг видобутку вугілля ін./антрациту, млн т	Обсяг виробництва вугілля ін./антрациту, млн т	Обсяг імпорту, млн т	Обсяг експорту, млн т	Темп зростання видобутку, %	Темп зростання імпорту, %	Темп зростання експорту, %	Баланс антрациту, млн т
2014	39,1350	33,208	4,989	5,586				32,611
2015	24,7490	23,853	8,850	0,000	71,83	177,39		32,703
2016	26,8380	25,122	7,539	0,184	105,32	85,19		32,477
2017	19,1350	18,933	10,268	0,076	75,36	136,20	41,30	29,125

Таблиця 4

Динаміка обсягів виробництва, імпорту та експорту коксу в Україні протягом 2014–2017 років

Рік	Обсяг виробництва коксу/дьюгю, млн т	Обсяг імпорту, млн т	Обсяг експорту, млн т	Темп зростання видобутку, %	Темп зростання імпорту, %	Темп зростання експорту, %	Баланс коксу, млн т
2014	14,644	1,636	1,158				15,122
2015	12,267	2,037	0,240	83,77	124,51	20,73	14,064
2016	13,442	1,612	0,257	109,58	79,14	107,08	14,797
2017	10,696	1,550	0,222	79,57	96,15	86,38	12,024

Так, протягом січня – вересня 2017 р. падіння видобутку, через втрати активів становило майже 3,415 млн т: із них – 1,5 млн т коксівного та 1,915 млн т – газового вугілля. Наслідком цього стало те, що на сьогодні Україна майже на п'яту частину залежить від імпорту енергетичного вугілля – як антрациту, так і газового.

У табл. 4 проведено аналіз динаміки виробництва, імпорту та експорту коксу.

Як бачимо, обсяги виробництва коксу протягом 2014–2017 рр. знижувались. Це, на нашу думку, є наслідком зниження обсягів видобутку коксівного вугілля. Експорт коксу протягом зазначеного періоду знижувався, імпорт – залишався практично на незмінному рівні. Унаслідок цього загальний баланс коксу в Україні зменшився з 15,122 млн т у 2014 р. до 10,024 млн т у 2017 р.

Задля наочності, на рис. 1 порівнюємо динаміку обсягів видобутку вугілля кам'яного, виробництва коксу, балансів коксівного вугілля та коксу в 2011–2017 рр.

Аналіз свідчить про наявність збігу тенденцій щодо аналізованих показників. Їхнє поліпшення спостерігалось у 2013 р., спад – у 2015 р., у 2016 р. відбулося деяке поліпшення ситуації.

На нашу думку, забезпечити раціональне використання вугільних ресурсів України можливо шляхом збалансування видобутку, виробництва вугільної сировини та подальшого використання їх у наступних виробничих процесах. З коксівного вугілля виробляється кокс, що потім використовується у металургійному виробництві. Антрацит використовується ТЕС і ТЕЦ, а також у виробництві промислової продукції. Отже, доцільно встановити взаємозв'язки між видобутком вугілля та його використанням (споживанням).

Нині в металургії використовують близько 13 % або 717 млн т від світового виробництва кам'яного вугілля. З нього у світі виплавляють близько 70 % сталі. За геологічними запасами Україна посідає перше місце в

Європі й сьоме у світі. Прогнозні запаси вугілля в Україні становлять 120 млрд т, розвідані – 56,7 млрд т (34,0 млрд т у. п.). Коксівне вугілля становить 3,1 % від цієї кількості. Коксохімічна промисловість посідає особливе місце в забезпеченні металургії сировиною і напівфабрикатами. Коксохімічна промисловість споживає близько 28,5 % від загального обсягу використання вугілля в країні. З однієї тонни готового для коксування вугілля вихід валового коксу – 705 кг. Основним видом

продукції коксохімічної галузі є доменний кокс, що становить 65,7 % товарної продукції галузі. Отже, на нашу думку, розвиток вугільної галузі необхідно координувати з урахуванням динаміки функціонування металургії. Саме тому нами було проведено дослідження взаємозв'язку темпів зростання обсягів видобутку та виробництва вугілля коксівного, виробництва коксу, експорту та імпорту коксу та виробництва чавуну в 2008–2017 рр. Отримані результати наведено на рис. 2.

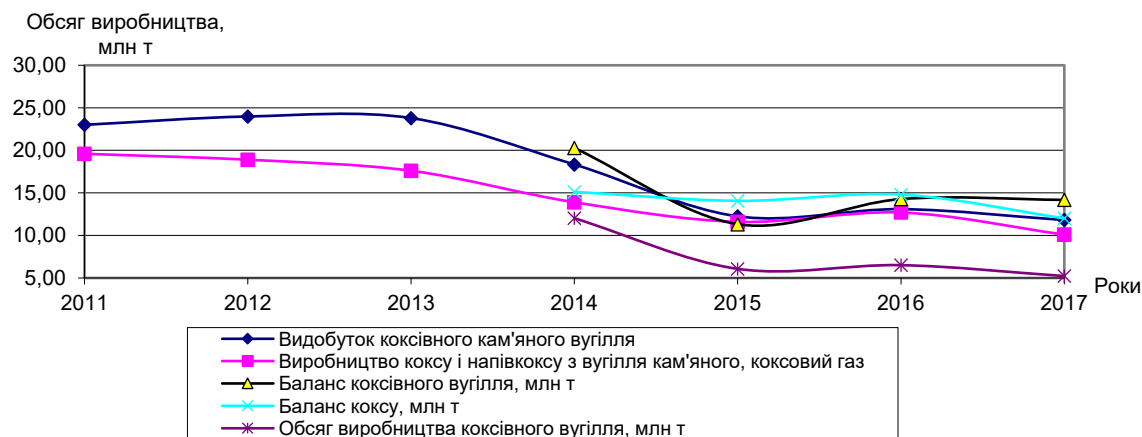


Рис. 1. Динаміка обсягів видобутку вугілля кам'яного, виробництва коксу, балансів коксівного вугілля та коксу в 2011–2017 роках

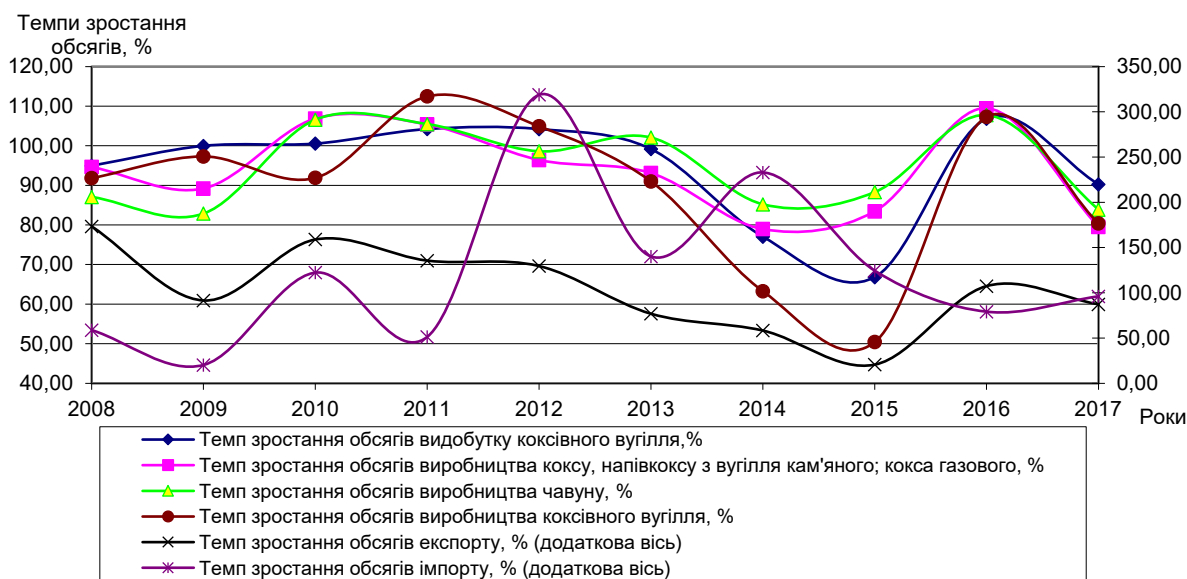


Рис. 2. Динаміка темпів зростання обсягів видобутку та виробництва вугілля коксівного, виробництва коксу, експорту та імпорту коксу і виробництва чавуну в 2008–2017 роках

Як бачимо, протягом 2008–2013 рр. динаміка видобутку коксівного вугілля не збігалася з відповідними показниками виробництва вугілля, виробництва коксу та напівкоксу і металургійної галузі (виробництва чавуну). Обсяги видобутку коксівного вугілля до 2013 р. зростали, натомість усі інші показники змінювалися з певною періодичністю. Із 2013 р. всі перераховані показники змінювались за одною і тією ж тенденцією – циклічно, тривалість малого циклу становить три роки. Темпи зростання експорту та імпорту не збігалися між собою і відрізнялися від динаміки видобутку коксівного вугілля, виробництва коксу та чавуну протягом 2008–2014 рр. Із 2015 р. динаміка експорту коксу збігається з іншими показниками.

Для уточнення ситуації щодо експортно-імпортної діяльності, нами було проведено зіставлення темпів зростання обсягів експорту та імпорту коксу і напівкоксу; вугілля

ретортного (код 2704 УКТЗЕД) з відповідними ціновими параметрами. Отримані результати наведено на рис. 3.

З аналізу рис. 3 бачимо, що періодичність зміни темпів зростання експортних та імпортних цін збігається, маємо малі цикли тривалістю 3–4 роки. Зіставлення темпів зростання обсягів імпорту та відповідних темпів зростання відповідних цін свідчить про те, що ці показники змінюються у протифазі, тобто зі зростанням імпортних цін знижуються обсяги імпорту і навпаки. Щодо взаємозалежності між цінами та обсягами експорту, то спостерігається збіг тенденції – зі зростанням цін збільшуються обсяги експорту. Винятком стали 2013–2015 рр., що, на нашу думку, є наслідком зниження обсягів видобутку, у т.ч. під впливом початку бойових дій в Донецькій та Луганській областях.

Отже, імпорт коксівного вугілля суттєво залежить від цінової кон'юнктури і практично не пов'язаний з потребами металургійної галузі України. Таким чином, на нашу думку, система управління раціональним використанням потенціалу країни щодо коксівного вугілля має включати збалансування потоків видобутку вугілля, виробництва

коксу та напівкоксу залежно від потреб металургійної галузі країни. З урахуванням циклічності розвитку металургії (Горошкова, 2011^{1,2}) видобуток коксівного вугілля та виробництво коксу і напівкоксу також мають бути циклічним. Тривалість малих циклів становить 3–4 роки.

Проведемо аналогічні оцінки щодо енергетичного вугілля – антрациту. Результати аналізу наведено на рис. 4.

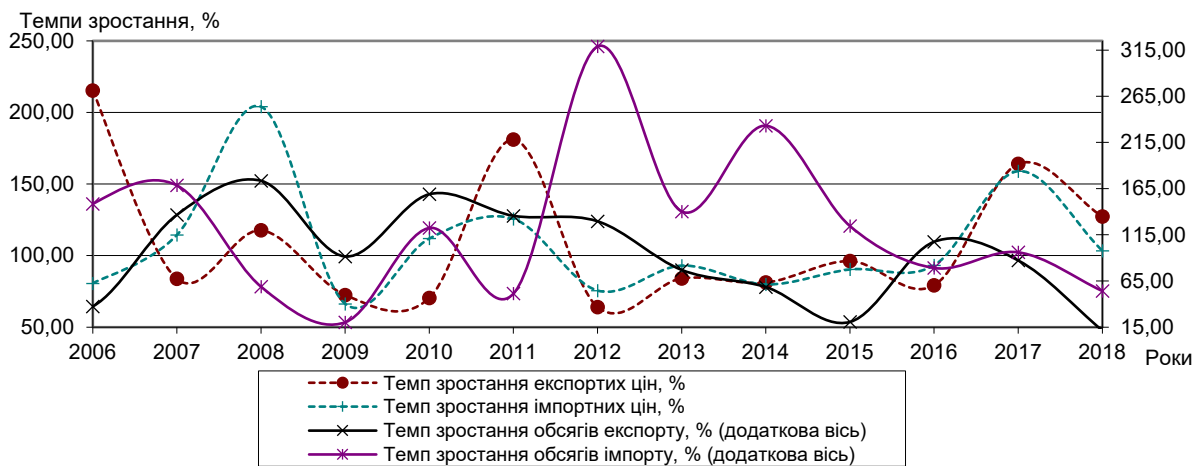


Рис. 3. Динаміка темпів зростання обсягів експорту та імпорту коксу і напівкоксу; вугілля ретортного (код 2704 УКТЗЕД) та відповідних темпів зростання цін у 2006–2017 роках

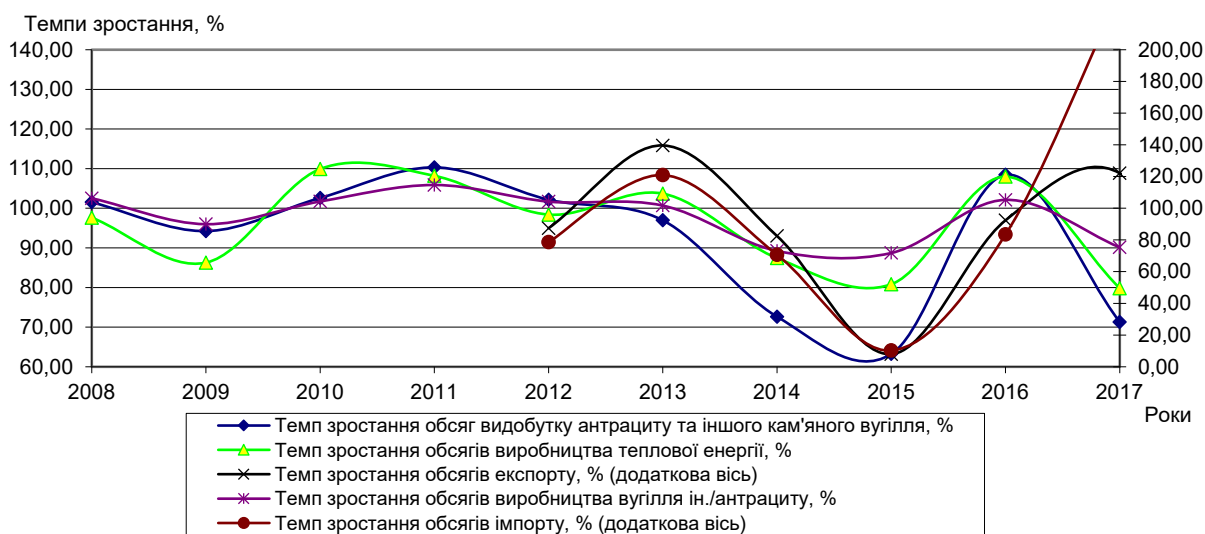


Рис. 4. Динаміка темпів зростання видобутку антрациту, виробництва вугілля іншого/антрациту, експорту, імпорту вугілля кам'яного, антрациту (код 2701 УКТЗЕД) та виробництва теплової енергії в 2008–2017 роках

Як бачимо, спостерігається кореляція між темпами зростання видобутку антрациту, виробництва вугілля іншого/антрациту, експорту, імпорту вугілля кам'яного, антрациту (код 2701 УКТЗЕД) та виробництва теплової енергії в 2008–2017 рр. Залежності мають періодичний характер, що свідчить про наявність малих циклів тривалістю 3–4 роки. Щодо експорту та імпорту винятком став 2017 р.

Проведемо аналіз темпів зростання обсягів імпорту та експорту і відповідних темпів зростання цін (рис. 5). Темпи зростання обсягів експорту та імпорту збігаються, як і темпи зростання цін. Щодо імпорту, то така тенденція цілком економічно обґрунтована – зі зниженням цін на імпорт зростає його обсяг. В експортній діяльності такий підхід економічно не виправданий, оскільки приносить збитки. Ситуація змінилась у 2015 р. – почали зростати як ціни експорту та імпорту, так і їхні обсяги. На нашу думку, зростання обсягів імпорту антрациту є наслідком зниження обсягів видобутку внаслідок бойових

дій в Донецькій та Луганській областях, де сконцентрована більшість шахт. Невиправданим у такій ситуації можливо вважати збільшення експорту стратегічно важливого для енергетичної безпеки ресурсу, в якому країна має нестачу.

Отримані результати свідчать про доцільність узгоджувати обсяги видобутку, виробництва та споживання антрациту між собою та враховувати наявність малих циклів розвитку теплоенергетики.

Вичерпність корисних копалин та неефективні експортні операції, створюють загрозу ресурсній складовій безпеки держави. Крім того, серед оптимізаційних заходів можливо запропонувати такі: проводити дорозвідку родовищ, інвестувати фінансові ресурси в реконструкції діючих шахт, що дозволить знизити обсяги втрат вугілля при видобутку та підвищить ефективність функціонування галузі.

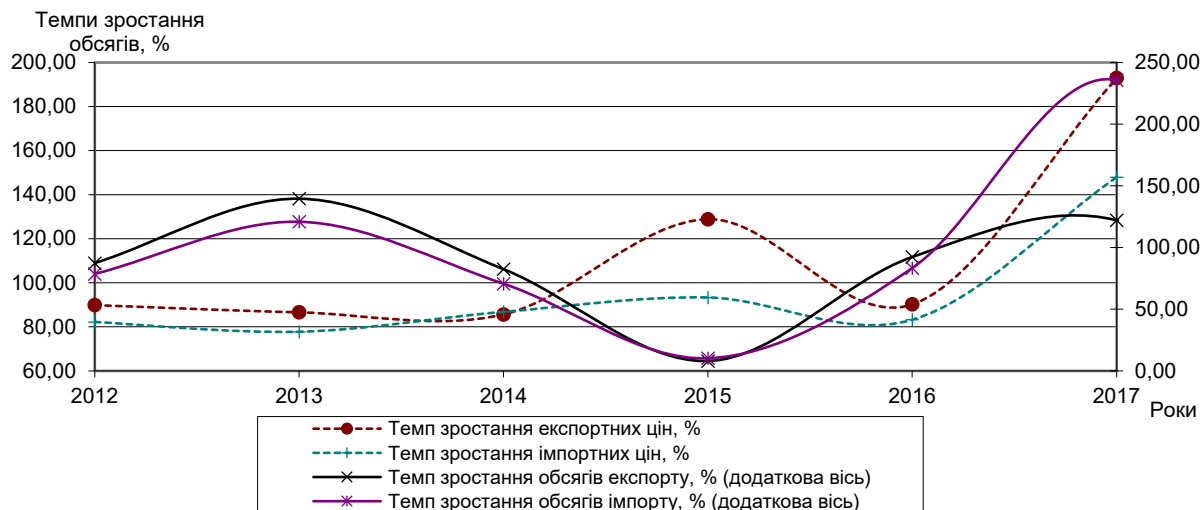


Рис. 5. Динаміка темпів зростання обсягів експорту та імпорту вугілля кам'яного, антрациту (код 2701 УКТЗЕД) та відповідних темпів зростання цін у 2012–2017 роках

Висновки і рекомендації. У результаті проведених досліджень сформовано механізм управління сталим розвитком вугільної галузі України.

Доведено, що однією з проблем вугільної галузі є суттєві втрати при видобутку вугілля. Так, загальний рівень втрат кам'яного вугілля становить 20 %, частка втрат при видобутку коксівного вугілля становлять 25–30 %. Суттєве зниження втрати при видобутку антрациту можливо пояснити різким зменшенням загального обсягу його видобутку. Установлено, що резервом підвищення ефективності функціонування галузі за умови більш ощадливого ставлення до ресурсів, є інвестування у реконструкцію шахт.

Установлено, що обсяги імпорту коксівного вугілля протягом 2014–2017 рр. коливались, зменшувались у 2015 р. та зросли в 2017 р. Обсяги експорту також спочатку знижувались, зросли вони тільки в 2017 р. Тенденції уповільнення розвитку галузі у 2015–2016 рр. можливо пояснити зменшенням обсягів видобутку внаслідок бойових дій у Донецькій та Луганській областях.

Доведено, що зменшення обсягів видобутку антрациту пов'язано з тим, що практично всі шахти з його видобутку з початком бойових дій опинились на непідконтрольній Україні території. Унаслідок цього спостерігалось збільшення обсягів імпорту та зниження експорту. Зазначена ситуація негативно вплинула на загальний баланс антрациту в Україні, обсяги запасів знизились.

Проведений аналіз показав, що 70 % імпорту вугілля здійснюється залізничним транспортом, що негативно впливає на собівартість продукції, оскільки використовується більш дорогий вид транспорту – залізничний, замість найдешевшого – морського.

Показано, що обсяги виробництва коксу протягом 2014–2017 рр. знижувались. Це є наслідком зниження обсягів видобутку коксівного вугілля.

Доведено, що забезпечити раціональне використання вугільних ресурсів України можливо шляхом збалансування видобутку, виробництва вугільної сировини та подальшого використання їх у наступних виробничих процесах. Такими процесами щодо коксівного вугілля є виробництво металу, а щодо антрациту – теплової енергії.

Проведено дослідження взаємозв'язку темпів зростання обсягів видобутку та виробництва вугілля коксівного, виробництва коксу, експорту та імпорту коксу і виробництва чавуну в 2008–2017 рр. Установлено, що протягом 2008–2013 рр. динаміка видобутку коксівного

вугілля не збігалася з відповідними показниками виробництва вугілля, виробництва коксу та напівкоксу і металургійної галузі (виробництвом чавуну). Із 2013 р. усі перераховані показники змінювались за одною і тією ж тенденцією – циклічно, тривалість малого циклу становить три роки. Показано, що ціни експорту та імпорту також змінювались циклічно.

Доведено, що імпорт коксівного вугілля суттєво залежить від цінової кон'юнктури і практично не пов'язаний з потребами металургійної галузі України.

Показано, що система управління раціональним використанням потенціалу країни щодо коксівного вугілля повинна включати збалансування потоків видобутку вугілля, виробництва коксу та напівкоксу в залежності від потреб металургійної галузі країни з урахуванням циклічності її розвитку.

Показано, що наявна кореляція між темпами зростання видобутку антрациту, виробництва вугілля іншого/антрациту, експорту, імпорту вугілля кам'яного, антрациту (код 2701 УКТЗЕД) та виробництва теплової енергії в 2008–2017 рр. Установлено, що залежності мають періодичний характер, що свідчить про наявність малих циклів тривалістю 3–4 роки.

Отримані результати свідчать про доцільність узгоджувати обсяги видобутку, виробництва та споживання антрациту між собою і враховувати наявність малих циклів розвитку теплоенергетики.

Доведено, що вичерпність корисних копалин і неефективні експортні операції, створюють загрозу ресурсній складовій безпеки держави. Запропоновано такі оптимізаційні заходи щодо поліпшення ситуації в галузі: проводити розвідку родовищ, інвестувати фінансові ресурси в реконструкції діючих шахт і підприємств, що дозволить знизити обсяги втрат вугілля при видобутку та підвищить ефективність функціонування галузі.

Подальших досліджень потребує проблема прогнозування та моделювання видобутку та використання вугільних ресурсів України в їхньому взаємозв'язку.

Список використаних джерел

- Андріївський, І.Д., Матюха, В.В., Мовчан, В.В. (2011). Сучасний стан і перспективи розвитку добувної промисловості України. *Мінеральні ресурси України*, 3, 8–14.
- Білан, Т.Р. (2017). Балансово-оптимізаційна модель визначення обсягів власного видобутку вугілля та його імпортування з урахуванням впливу заходів з модернізації та реконструкції на техніко-економічні. *Проблеми загальної енергетики*, 4(51), 18–22.
- Бобро Д.Г. (2018). Вугільна промисловість України в умовах гібридної війни". Аналітична записка. Національний інститут стратегічних досліджень. Отримано з <http://www.niss.gov.ua/articles/1890/>

Бодюк, А.В. (2013). Економіко-ресурсний аспект досліджень корисних копалин. *Формування ринкових відносин в Україні*, 12(151), 176–179.

Волков, В.П., Горошкова, Л.А. (2013). Прогнозування розвитку складних техніко-економічних систем мезорівня. *Економічний вісник університету: Збірник наукових праць учених та аспірантів. Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет ім. Г. Сковороди*, 20/2, 257–263.

Волков, В.П., Горошкова, Л.А. (2014). Малі економічні цикли: теорія та вітчизняна практика. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія "Економіка": Збірник наукових праць*, 1 (42), 270–276.

Горошкова, Л.А. (2011¹). Економічна циклічність розвитку металургійної та забезпечуючих галузей. *Економічний вісник університету: Збірник наукових праць учених та аспірантів. Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет ім. Г. Сковороди*, 17/2, 47–54.

Горошкова, Л.А. (2011²). Моделирование цикличности развития черной металлургии и обеспечивающих отраслей в условиях трансформации экономики. *Экономический бюллетень научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь*, 10, 37–42.

Гошовський, С.В., Красножон, М.Д., Люта, Н.Г., Василенко, А.П., Костенко, М.М. (2014). Мінерально-сировинна база України. Стаття 1. Щодо необхідності внесення змін до Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року. *Мінеральні ресурси України*, 4, 4–7.

Довгий, С.О., Шестопапов, В.М., Коржнев, М.М. та ін. (2007). Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення. К.: Наук. думка.

Закон України "Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року". (2011). № 4731-VI від 17.05.2012 р. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 44, 457.

Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України за 12 місяців 2015 року. (2016). Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Отримано з http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/archive?cat_id=35081&page=6

Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України за 12 місяців 2016 року. (2017). Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Отримано з http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/archive?cat_id=35081&page=6

Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України за 12 місяців 2017 року. (2018). Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Отримано з http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/archive?cat_id=35081&page=6

Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу України за 12 місяців 2018 року. (2019). Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. Отримано з http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/archive?cat_id=35081&page=6

Коржнев, М.М., Михайлов, В.А., Міщенко, В.С. та ін. (2006). Основи економічної геології. К.: Логос.

Костенко, М.М. (2014). Мінерально-сировинна база України. Стаття 3. Стан мінерально-сировинної бази неметалічних корисних копалин України та основні напрями геологорозвідувальних робіт. *Мінеральні ресурси України*, 4, 6–13.

Красножон, М.Д. (2015). Мінерально-сировинна база України. Стаття 4. Паливно-енергетичні ресурси і перспективи їхнього нарощування. *Мінеральні ресурси України*, 4, 1–6.

Лисенко, О.А. (2017). Геолого-економічна оцінка корисних копалин (актуальні питання і методичні аспекти). *Мінеральні ресурси України*, 3, 22–26.

Лисенко, О.А., Василенко, А.П., Костенко, М.М. (2017). Геологія рудних і нерудних корисних копалин – важливий напрям наукових досліджень Українського державного геологорозвідувального інституту. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*, 2, 20–32.

Матеріали слухавь Спеціальної контрольної комісії ВРУ України з питань приватизації 17 травня 2018 року. (2018). Отримано з <http://scpp.rada.gov.ua/uploads/documents/29302.pdf>

Нагорний, Ю.М., Нагорний, В.М., Приходченко, В.Ф. (2005). Геологія вугільних родовищ. Дніпропетровськ: НГУ.

Примушко, С.І., Білошпаська, Т.Д., Величко, В.Ф. (ред.) (2018). Мінеральні ресурси України. К.: ДНВП "Державний інформаційний геологічний фонд України". Отримано з <http://geoinf.kiev.ua/horyuchi-korynsi-kopalyny/tverdi-horyuchi-korynsi-kopalyny/>

Рудько, Г.І., Курило, М.М., Бала, В.В., Маковський, Ю.С. (2018). Методи визначення (обґрунтування) ціни товарної продукції при геолого-економічній оцінці вугільних родовищ. *Мінеральні ресурси України*, 4, 45–48.

Рудько, Г.І., Курило, М.М., Бала, В.В. (2016). Зіставлення критеріїв визначення та ознак класифікації запасів і ресурсів у вітчизняній та міжнародній практиці геолого-економічної оцінки на прикладі родовищ вугілля. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 1(72), 76–81.

Рудько, Г.І., Бала, В.В., Курило, М.М. (2017). Оцінка ризиків освоєння родовищ вугілля на прикладі вітчизняних об'єктів з незначними запасами. *Мінеральні ресурси України*, 3, 19–21.

Рудько, Г.І., Курило, М.М., Радованов, С.В. (2011). Геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин. К.: АДЕФ-Україна.

Статистичний щорічник України за 2013 рік: [довідкове видання]. (2017). Державна служба статистики України. Київ.

Статистичний щорічник України за 2017 рік: [довідкове видання]. (2018). Державна служба статистики України. Київ.

Шевченко, А.В., Воробйов, С.Л. (н.д.). Пріоритети та важелі модернізації вугільної галузі в Україні. Аналітична записка. Отримано з <http://www.niss.gov.ua/articles/1495/>

References

- Andriivskiy, I.D., Matiukha, V.V., Movchan, V.V. (2011). Modern state and prospects of development of extractive industry of Ukraine. *Mineral resources of Ukraine*, 3, 8–14. [in Ukrainian]
- Bilan, T.R. (2017) Balance-optimization model of determination of volumes of the own mining and his importation taking into account influence of events on modernisation and reconstruction on техніко-економічні. *Problems of general energy*, 4(51), 18–22. [in Ukrainian]
- Bobro, D.H. Coal industry of Ukraine is in the conditions of hybrid war". Analytical message: the National institute of strategic researches. Retrieved from <http://www.niss.gov.ua/articles/1890/>. [in Ukrainian]
- Bodiuk, A.B. (2013). Economical-recourse aspect of researches of minerals. *Forming of market relations in Ukraine*, 12 (151), 176–179. [in Ukrainian]
- Dovhyi, O.V., Shestopalov, V.M., Korzhnev, M.M. et al. (2007). Restructuring of raw mineral-material base of Ukraine and her dataware. K.: Naukova dumka. [in Ukrainian]
- Informative certificate about the basic indexes of development of industries of fuel and energy complex of Ukraine for 12 months of 2015. (2016). Retrieved from http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/archive?cat_id=35081&page=6. [in Ukrainian]
- Informative certificate about the basic indexes of development of industries of fuel and energy complex of Ukraine for 12 months of 2016. (2017). Official web-site of Ministry of energy and coal industry of Ukraine. Retrieved from http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/archive?cat_id=35081&page=6 [in Ukrainian]
- Informative certificate about the basic indexes of development of industries of fuel and energy complex of Ukraine for 12 months of 2017. (2018). Official web-site of Ministry of energy and coal industry of Ukraine. Retrieved from http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/archive?cat_id=35081&page=6. [in Ukrainian]
- Informative certificate about the basic indexes of development of industries of fuel and energy complex of Ukraine for 12 months of 2018. (2019). Official web-site of Ministry of energy and coal industry of Ukraine. Retrieved from http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/archive?cat_id=35081&page=6 [in Ukrainian]
- Horoshkova, L.A. (2011¹). An economic recurrence of development of metallurgical and provide industries. *Economic announer of university: Collection of scientific works of scientists and graduate students of Pereyaslav-Khmelnytsky State pedagogical University*, 17/2, 47–54. [in Ukrainian]
- Horoshkova, L.A. (2011²). Modeling of recurrence of development of ferrous metallurgy and providing industries in the conditions of transformation of economy. *Economic bulletin of research economic institute of Ministry of economy of Republic of Belarus. Minsk: NIEI*, 10, 37–42. [in Russian]
- Hoshovskiy, S.V., Krasnozhan, M.D., Liuta, N.H., Vasylenko, A.P., Kostenko, M.M. (2014). Raw Mineral-material base of Ukraine. Article 1. In relation to the necessity of making alteration to the National program of development of raw mineral-material base of Ukraine on a period 2030 to. *Mineral resources of Ukraine*, 4, 4–7. [in Ukrainian]
- Korzhnev, M.M., Mykhailov, V.A., Mischenko, B.S. et al. (2006). Bases of economic geology. K.: Logos. [in Ukrainian]
- Kostenko, M.M. (2014). A raw Mineral-material base of Ukraine. Article 3. State of raw mineral-material base of non-metal minerals of Ukraine and basic directions of geological survey works. *Mineral resources of Ukraine*, 4, 6–13. [in Ukrainian]
- Krasnozhan, M.D. (2015). Raw Mineral-material base of Ukraine. Article 4. Fuel and energy resources and prospects of their increase. *Mineral resources of Ukraine*, 4, 1–6. [in Ukrainian]
- Law of Ukraine "On claim of the National program of development of raw mineral-material base of Ukraine on a period to 2030". (2011). № 4731-VI from 17.05.2012/*List of Supreme Soviet of Ukraine*, 44, 457. [in Ukrainian]
- Lysenko, O.A. (2017). Geology-economical estimation of minerals (pressing questions and methodical aspects). *Mineral resources of Ukraine*, 3, 22–26. [in Ukrainian]
- Lysenko, O.A., Vasylenko, A.P., Kostenko, M.M. (2017). Geology of ore and non-metallic minerals is important direction of scientific researches of the Ukrainian state geological survey institute. *Collection of scientific works of UkrSGRI*, 1–2, 20–32. [in Ukrainian]
- Materials of listening of the Special control commission of BPY of Ukraine on questions privatizing on May, 17, 2018. (2018). Retrieved from <http://scpp.rada.gov.ua/uploads/documents/29302.pdf> [in Ukrainian]
- Prymushko, S.I., Biloshapska, T.D., Velychko, V.F. (Eds.) (2017). Mineral resources of Ukraine. K.: State scientific and production enterprise the "State informative geological fund of Ukraine". [in Ukrainian]
- Nagorniy, Yu.M., Nagorniy, V.M., Prihodchenko, V.F. (2005). Geology of coal deposits. Dnipropetrovsk: HGU.
- Rudko, H.I., Kurylo, M.M., Radovanov, S.V. (2011). Geological and economic evaluation of mineral deposits. Kyiv: ADEF-Ukraine. Retrieved from <http://geoinf.kiev.ua/horyuchi-korynsi-kopalyny/tverdi-horyuchi-korynsi-kopalyny/> [in Ukrainian]

Rudko, H.I., Kurylo, M.M., Bala, V.V., Makovskyi, Yu.S. (2018). Methods of determination (ground) of cost of commodity products are at the reonoro-еко-номічний estimation of coal deposits. *Mineral resources of Ukraine*, 4, 45–48. [in Ukrainian]

Rudko, H.I., Kurylo, M.M., Bala, V.V. (2016). Comparison of criteria of determination and signs of classification of supplies and resources is in home and international practice. Geological-economy estimation on the example of deposits of coal. *Visnyk of Taras Shevchenko national university of Kyiv. Geology*, 1 (72), 76–81. [in Ukrainian]

Rudko, H.I., Bala, V.V., Kurylo, M.M. (2017). An estimation of risks of mastering of deposits of coal is on the example of home objects with insignificant supplies. *Mineral resources of Ukraine*, 3, 19–21. [in Ukrainian]

Statistical annual of Ukraine for 2013: [certificate edition] (2014). Government service of statistics of Ukraine. Kyiv. [in Ukrainian]

Statistical annual of Ukraine for 2017: [certificate edition] (2018). Government service of statistics of Ukraine. Kyiv. [in Ukrainian]

Shevchenko, A.V., Vorobyov, S.L. (n.d.). Priorities and levers of modernisation of coal industry are in Ukraine. Analytical message. Retrieved from <http://www.niss.gov.ua/articles/1495/>. [in Ukrainian]

Volkov, V.P., Horoshkova, L.A. (2013). Prognostication of development of the difficult technical-economical systems of mezolevel. *Economic announcer of university: Collection of scientific works of scientists and graduate students of Pereyaslav-Khmelnytsky State pedagogical University*, 20/2, 257–263. [in Ukrainian]

Volkov, V.P., Horoshkova, L.A. (2014). Small economic cycles: theory and home practice. *Scientific announcer of the Uzhhorod University. Series "Economy": Collection of scientific workss Uzhhorod University*, 1 (42), 270–276. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 15.01.20

L. Horoshkova¹, Dr. Sci. (Econ.), Prof.,
E-mail: goroshkova69@gmail.com;
Y. Khlobystov², Dr. Sci. (Econ.), Prof.,
E-mail: ievgen.khlobystov@ukr.net;
V. Volkov¹, Dr. Sci. (Techn.), Prof.,
E-mail: volkovvp49@gmail.com;
¹Zaporizhzhya National University,
66 Zhukovs'kogo Str., Zaporizhzhya, 69600, Ukraine;
²National University of "Kyiv-Mohyla Academy",
2 Skovorody Str., Kyiv, 04655, Ukraine

CYCLICAL NATURE OF THE COAL MINING INDUSTRY IN UKRAINE AND ITS SUSTAINABLE DEVELOPMENT CAPACITY

The mechanism for Ukrainian coal mining industry's sustainable development management has been formed as a result of the study.

Significant losses in the process of coal mining are proved to be one of the coal mining industry problems. It has been specified that the reserve for the industry's efficiency upgrading in the framework of more resource-saving behaviour is funding of mines reconstruction.

Slowdown in the coal mining industry development has been determined to be the result of military operation in Donetsk and Luhans'k regions.

The inefficiency of transport logistics for coal resources imported by Ukraine has been proved, since the rail freight transport is favored instead of cheaper maritime transport due to the underdeveloped quality of port infrastructure.

Balancing mining, production of coal raw materials and their subsequent use in the production processes have been proved to be the ways to ensure rational use of coal resources of Ukraine. The processes for coking coal is metal production, and for anthracite – thermal energy production.

Relationship between growth rates of coking coal mining and production, coke mining, exports and imports of coke and ironmaking during 2008–2017s have been studied.

It has been demonstrated that imports of coking coal essentially depends on the market pricing and has little to do with the needs of the metallurgical industry of Ukraine. It has been shown that the system for rational use of coking coal's capacity in Ukraine should include balancing flows of coal mining, coke and semi-coke mining according to the needs of national metallurgical industry, taking into account cyclical nature of its development.

The necessity of coordinating the volumes of anthracite extraction, production and consumption and taking into account short cycles of heat power development have been defined.

Keywords: mineral and raw materials base, fuel and energy resources, hard coal, coking coal, anthracite, forecasting, modeling, management

Л. Горошкова¹, д-р экон. наук, проф.,
E-mail: goroshkova69@gmail.com;
Е. Хлобыстов², д-р экон. наук, проф.,
E-mail: ievgen.khlobystov@ukr.net;
В. Волков¹, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: volkovvp49@gmail.com;
Запорожский национальный университет,
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, 69600, Украина;
Национальный университет "Киево-Могилянская академия",
ул. Г. Сковороды, 2, г. Киев, 04655, Украина

ЦИКЛИЧНОСТЬ УГЛЕДОБЫЧИ В УКРАИНЕ И ПОТЕНЦИАЛ УСТОЙЧИВОГО РОЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

В результате проведенных исследований сформирован механизм управления устойчивым развитием угольной отрасли Украины. Доказано, что одной из проблем угольной отрасли есть существенные потери при добыче угля. Установлено, что резервом повышения эффективности функционирования отрасли при условии более расчетливого отношения к ресурсам, есть инвестирование в реконструкцию шахт, что причина замедления развития угольной отрасли является следствием боевых действий в Донецкой и Луганской областях. Продемонстрирована неэффективность транспортного обеспечения относительно угольных ресурсов, которые импортируются в Украину, поскольку преимущество отдается железнодорожному транспорту вместо более дешевого – морского вследствие недоразвития соответствующей портовой инфраструктуры. Обеспечить рациональное использование угольных ресурсов Украины возможно путем сбалансирования добычи, производства угольного сырья и дальнейшего их использования в следующих производственных процессах. Такими процессами для коксующегося угля является производство металла, а для антрацита – тепловой энергии. Проведено исследование взаимосвязи темпов роста объемов добычи и производства угля коксующегося, производства кокса, экспорта и импорта кокса, а также производства чугуна в 2008–2017 гг. Импорт коксующегося угля существенно зависит от ценовой конъюнктуры и практически не связан с потребностями металлургической отрасли Украины. Система управления рациональным использованием потенциала страны относительно коксующегося угля должна включать сбалансирование потоков добычи угля, производства кокса и полукокса в зависимости от потребностей металлургической отрасли страны с учетом цикличности ее развития. Установлена необходимость учета малых циклов развития теплоэнергетики и согласования объемов добычи, производства и потребления антрацита между собой.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, топливно-энергетические ресурсы, уголь каменный, уголь коксующийся, антрацит, прогнозирование, моделирование, управление.

УДК 343.1:343.14:349.59:349.6

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.09>

О. Кучинська, д-р юрид. наук, проф.,

E-mail: 2000_oksana@ukr.net,

ORCID ID 0000-0003-3464-4798;

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01601, Україна;

В. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.,

директор Геологічного музею,

E-mail: v.nesterovskii@ukr.net,

ORCID ID 0000-0002-7065-8962;

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

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

О. Старенький, канд. юрид. наук,

E-mail: xander20082@gmail.com,

ORCID ID 0000-0002-4517-726X;

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01601, Україна;

Ю. Циганюк, канд. юрид. наук, доц.,

E-mail: smuchok82@gmail.com,

ORCID ID 0000-0002-8495-3583;

Хмельницький інститут Міжрегіональної Академії управління персоналом,

пр. Миру, 101, а, м. Хмельницький, 29015, Україна

НЕЗАКОННЕ ВИДОБУВАННЯ БУРШТИНУ ТА ЗАХОДИ БОРОТЬБИ З НИМ

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

Суттєве збільшення попиту на бурштин у світі зумовило виникнення в Україні цілої низки проблем, пов'язаних не тільки з геологією та надрокористуванням, але й економікою, правом та іншими сферами життєдіяльності суспільства. Запобігання та боротьба зі злочинами, які пов'язані з незаконним видобутком бурштину, здійснюється за допомогою різних заходів і методів. Одним із них є реалізація норм ст. 240 Кримінального кодексу України через притягнення винуватих осіб до кримінальної відповідальності, що відбувається через застосування норм кримінального процесуального права: кваліфікації дій осіб при внесенні відомостей до Єдиного реєстру досудових розслідувань, застосування заходів забезпечення кримінального провадження, здійснення доказування у справах, що пов'язані з незаконним видобутком бурштину тощо. Саме тому є необхідність у проведенні теоретичного і правового аналізу, розробки практичних рекомендацій для забезпечення ефективності застосування заходів боротьби з незаконним видобуванням бурштину під час здійснення доказування в кримінальних провадженнях.

Серед таких заходів автори виділяють: негласні слідчі (розшукові) дії, оскільки за їхньою допомогою можливо отримати належні, допустимі та достовірні докази незаконного видобування; кваліфікацію дій осіб за наявності фактичних підстав, що свідчать про вчинення злочину середньої тяжкості, передбаченого ч. 2, 3 ст. 240 КК України за ч. 4 ст. 240 КК України, визначено як необґрунтовану; з метою уникнення зазначеного вище запропоновано в чинному КПК України передбачити можливість проведення негласних слідчих (розшукових) дій не лише щодо тяжких чи особливо тяжких, а також і щодо злочинів середньої тяжкості.

Ключові слова: бурштин, незаконне видобування бурштину, досудове розслідування, негласні слідчі (розшукові) дії, кримінальне провадження.

Україна посідає третє місце у світі за розвіданими запасами бурштину (після Польщі – 700 тис. т і Росії – 160 тис. т) (Рудько, Литвинюк, 2017). На її території поклади цієї корисної копалини пов'язані з двома палеофлористичними субпровінціями: Прип'ятсько-Дніпровською і Карпатською, що входять до складу єдиної Балтійсько-Чорноморської бурштинової провінції. Основні ресурси сировини сконцентровані в межах північно-західного, північного і північно-східного схилів Українського щита та Передкарпатського крайового прогину. Бурштиноносні верстви встановлені на різних стратиграфічних рівнях середнього і верхнього палеогену, неогену та антропогену, і в сучасному рельєфі розташовані на глибинах від 30–50 см до 15–20 м і більше.

Площа розвитку бурштиноносних відкладів тільки в межах Прип'ятсько-Дніпровської субпровінції становить близько 15 тис. км² з прогнозними ресурсами бурштину понад 100 тис. т (Нестеровський, 2006). В адміністративному відношенні бурштиноносні території входять до складу Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської, Івано-Франківської та Львівської областей, проте фрагментарні знахідки бурштину відомі й у інших областях. Таку велику площу розповсюдження бурштину в Україні не має жоден з коштовних каменів. Немає такої географії поширення бурштину і в інших країнах.

Геологія бурштину досить складна. Це належить як до стратифікації бурштиноносних товщ, так і проведення пошуково-розвідувальних робіт і виділення окремих ді-

лянок для видобутку сировини. Одноманітність літологічного складу, відсутність керівної макрофауни та розсіпний характер формування покладів на фоні легкості бурштину та його незакономірного розподілу в просторі й часі не надають переваги жодному з пошукових критеріїв, а підрахунок запасів необхідно здійснювати за значним обсягом гірничих виробок (шурфів, траншей, кар'єрів). Саме тому у зв'язку з величезною площею поширення бурштиноносних відкладів в Україні ми нині маємо тільки шість родовищ із затвердженими запасами на фоні кількох десятків проявів, що перебувають на різних стадіях дослідження.

Як відомо, бурштин є цінною мінеральною сировиною. Він, завдяки унікальним властивостям, знайшов застосування у багатьох галузях народного господарства: медицині, сільському господарстві, виробництві захисних покриттів, ювелірній справі, прикладному декоративному мистецтві, культурі тощо. Бурштин отримав популярність як сировина для виготовлення культово-обрядових виробів, предметів сувенірно-галантерейного призначення, різьблення і став предметом колекціонування.

Необхідно відмітити і те, що для різних потреб можуть використовуватися тільки певні сортові групи бурштину і саме на них у світі є попит.

Ключовими параметрами формування сортових груп для виробництва прикрас є маса, морфологія і стан поверхні бурштину. Після розкриття кірки окиснення важливими елементами стають колір та його трансформації (Нестеровський, 2008).

Офіційні дані за розробкою Клесівського родовища на Рівненщині вказують, що основною сортовою групою є фракції менше 2 г, які за розміром не ідуть на виробництво ювелірних виробів. Їхній вміст у середньому становить близько 42 %, а разом з некондиційним (шаруватим, забрудненим, пінистим) досягає 50 % і більше. Водночас, фракції від 10 до 500 г, що мають найбільший попит на ринку, становлять у сумі не більше 23 %. Ну а вміст бурштину масою понад 500 г, на який є найбільший попит, становить менше 0,3 %. Оцінити заздалегідь точний розподіл розмірно-сортівних груп на родовищі без його розробки неможливо.

Інша проблема статистики за сортовими групами на Клесівському родовищі полягає в тому, що технічні вимоги на бурштин-сирець на цьому родовищі запрацювали через 10 років після початку його експлуатації й тому наведені дані не є остаточними.

Постановка проблеми. Суттєве збільшення попиту на бурштин у світі за останнє десятиріччя зумовило виникнення в Україні цілої низки нових проблем, що лежать у площині геології та надрокористування, а також економіки, права, соціології, психології та інших сфер науки і життєдіяльності суспільства. "Бурштиною лихоманкою" були охоплені цілі адміністративні райони Житомирської, Рівненської, Київської та Волинської областей. Країна не була готова до стрімкого розповсюдження "хвороби незаконного видобутку бурштину", а корупція в державному секторі тільки підсилила діяльність нелегальних організацій і угруповань, які почали активно видобувати, обробляти і реалізувати бурштин на світовий ринок.

Кустарний нелегальний видобуток бурштину набув масового характеру. Цьому сприяли і природні фактори: неглибоке залягання і піщаний склад продуктивної товщі, низька питома вага бурштину та значне обводнення бурштиноносних територій. Саме цей сумарний феномен дозволив "старателям" ефективно використати мобільний гідропомповий метод, який забезпечує локальне вимивання бурштину з пухких порід до глибини 10–12 м.

За попередніми неофіційними підрахунками незаконним способом із надр України за період з 2010 по 2019 рр. було добуто від 300 до 500 т бурштину, що в десятки разів перевищує легальний видобуток.

Спонтанна, вибіркова і неконтрольована розробка бурштинових покладів призвела до суттєвих негативних наслідків, головними з яких є:

- порушення природного характеру залягання бурштиноносних горизонтів і горизонтів, що їх перекривають і підстилають;
- порушення гідрогеологічного режиму та зміна рівня і хімізму ґрунтових вод;
- знищення природної екосистеми, яка охоплює ґрунти, рослинність і біоценоз;
- активізації еолових процесів;
- знищення лісового та заповідного фонду і земель сільськогосподарського призначення;
- зменшення запасів бурштину, неможливість коректно підрахувати залишкові запаси порушених надр;
- зменшення державних надходжень за користування надрами і законну реалізацію сировини;
- збільшення соціальної напруги, підвищення рівня кримінальної обстановки.

Важливо відмітити, що системний нелегальний видобуток корисної копалини відбувався на фоні існуючої дисциплінарної й кримінальної відповідальності за такі дії.

Загальний порядок регулювання відносин при користуванні надрами, у тому числі й геологічного вивчення, видобування і реалізації сировини, має здійснюватися відповідно до діючого Кодексу України про надра, Земельного, Лісового, Кримінального кодексів України та Закону України "Про державне регулювання, видобутку, виробництва і використання

дорогоцінних металів і дорогоцінного каміння та контроль за операціями з ними", прийнятого 18.11.1997 р. (*Про державне регулювання видобутку...*, 1997).

Бурштин за цим законом віднесено до категорії дорогоцінного каміння загальнодержавного значення. Це було закріплено Кабінетом Міністрів України ще в 1994 р. Постановою № 827 "Про затвердження переліку корисних копалин загальнодержавного та місцевого значення".

Видобуток дорогоцінного каміння, у тому числі й бурштину, за Постановою КМУ № 615 від 30.05.2011 проводиться тільки на підставі спеціальних дозволів (*Про затвердження Порядку надання...*, 2011).

Крім цього, у 1992 р. для запобігання самовільного видобутку бурштину на Клесівському родовищі Президентом України було видано спеціальне розпорядження "Про охорону і використання Клесівського родовища бурштину в Рівненській області" від 21.07.1992 (*Про охорону і використання...*, 1992). Зміни до нього були внесені Постановою КМУ № 437 від 13.07.2016.

Але, як виявилось у реальному житті, закони та норми права, що встановлюють кримінальну відповідальність за незаконний видобуток бурштину, не розв'язали існуючої проблеми.

Пізніше, з метою поліпшення ситуації та припинення незаконного видобутку ситуації були спроби прийняття низки нових законів, до підготовки яких залучалися представники геологічної науки, спеціалісти лісного господарства, екологи, правознавці, депутати та місцеві громади Житомирської та Рівненської областей тощо. На жаль, жоден із розроблених проектів так і не був ухвалений остаточно.

У даній статті ми акцентуємо увагу лише на кримінально-процесуальних заходах боротьби з незаконним видобуванням бурштину та можливих заходах щодо поліпшення реалізації норм уже існуючої ст. 240 Кримінального кодексу України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стан злочинності, що пов'язаний з незаконним видобутком бурштину в Україні, а також заходи боротьби з ним, були предметом наукових досліджень Д.О. Алексєєвої-Процюк та О.М. Брисковської (*Алексєєва-Процюк та Брисковська*, 2015), С.Б. Ковалевського (*Ковалевський та ін.*, 2019), А.О. Кисельова (*Kyselov*, 2019), О.Б. Сахарової та Ю.О. Заблоцької (*Сахарова, Заблоцька*, 2016), В.В. Сілко (*Сілко*, 2017), Ю.О. Татарова та С.І. Марко (*Татаров, Марко*, 2014) та інших науковців. Однак сучасні наукові дослідження засновуються на кримінально-правовому або кримінологічному аналізі злочинності, пов'язаної з незаконним видобуванням бурштину, і не враховують необхідність теоретичного переосмислення проблем процесуальної діяльності з реалізації кримінально-процесуальних заходів боротьби з незаконним видобуванням бурштину.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Більшість досліджуваних правових питань незаконного видобутку бурштину в Україні не враховує слідчо-прокурорську, а також судову практику з розслідувань злочинів, що передбачені ст. 240 Кримінального кодексу України (КК України): кваліфікації дій осіб при внесенні відомостей до Єдиного реєстру досудових розслідувань, застосування заходів забезпечення кримінального провадження, здійснення доказування у справах, що пов'язані з незаконним видобутком бурштину тощо. Тому існує нагальна потреба проведення теоретичного і правового аналізу, а також розробки практичних рекомендацій для забезпечення ефективності застосування заходів боротьби з незаконним видобуванням бурштину під час здійснення доказування у кримінальних провадженнях.

Виклад основного матеріалу дослідження. Результати проведеного аналізу матеріалів правозастосовної практики свідчать про те, що в останні роки в Україні склалася досить складна та проблемна ситуація через масштабну поширеність фактів незаконного видобування бурштину. У зв'язку із цим Головне слідче управління Національної поліції України систематично вживає необхідні заходи, спрямовані на підвищення ефективності розкриття та розслідування кримінальних правопорушень про незаконне видобування бурштину (ст. 240, 198 КК України).

Так, протягом семи місяців 2019 р. слідчими підрозділами Головного управління Національної поліції України (ГУНП) здійснювалося досудове розслідування в 389 кримінальних провадженнях за фактами незаконного видобування бурштину (ст. 240 КК України) у Волинській (20 або 5,1 % від загальної кількості), Житомирській (54 або 13,9 %) та Рівненській (315 або 81 %) областях. Загалом це на 52 кримінальні провадження менше (на 11,8 %), ніж за аналогічний період минулого року (441).

За сім місяців 2019 р. розпочато 108 кримінальних проваджень (27,8 % від загальної кількості), що на 72 менше (40 %) показника 2018 року (180). Слід зазначити, що в 2018 р. розпочато 237 кримінальних проваджень, це на 130 проваджень менше (35,4 %), ніж за 2017 р. (367).

Протягом семи місяців 2019 р. в 20 кримінальних провадженнях закінчено досудове розслідування (складено та направлені до суду обвинувальні акти, у т.ч. з угодами, та клопотання про звільнення від кримінальної відповідальності), що становить 13,5 % від кримінальних проваджень, які розслідувалися без урахування закритих (171), та 9,5 % від усіх закінчених проваджень зазначеної категорії (241).

Показник закінчених кримінальних проваджень із направленням до суду обвинувальних актів зменшився більш як удвічі, а саме із 54 до 23 проваджень. Порівняно з аналогічним періодом 2018 р. зменшено кількість таких кримінальних проваджень слідчими підрозділами ГУНП у Житомирській області з 19 до 11 (–8) та в ГУНП у Рівненській області – із 35 до 12 (–23). Слідчими підрозділами ГУНП у Волинській області протягом поточного року кримінальні провадження відповідної категорії до суду не надсилалися, що відповідає показнику 2018 р.

У залишку без прийнятих процесуальних рішень на початок серпня 2019 р. було 144 кримінальні провадження. Слід зазначити, що в залишку слідчих підрозділів ГУНП у Волинській та Житомирській областях відсутні кримінальні провадження, в яких особам повідомлено про підозру, а в слідчих підрозділах ГУНП в Рівненській області два таких кримінальні провадження.

Окремо слід зазначити, що протягом семи місяців 2019 р. слідчими підрозділами ГУНП у Волинській, Житомирській та Рівненській областях здійснювалося досудове розслідування в 250 кримінальних провадженнях, розпочатих за фактами незаконного придбання, зберігання чи збуту бурштину (ст. 198 КК України), що на 11 проваджень менше, ніж за аналогічний період 2018 р. (261). З указаної кількості 33 кримінальних проваджень відкрито в поточному році (Волинська область – 2 кримінальні провадження, Житомирська – 1 та Рівненська – 30), а в 2018 р. відповідний показник становив 56 кримінальних проваджень.

Закінчено досудове розслідування з направленням до суду обвинувальних актів у п'яти кримінальних провадженнях цієї категорії (Рівненська обл.), проти шести за аналогічний період 2018 р.

Під час вживання заходів органами Національної поліції України щодо боротьби з незаконним видобуванням бурштину та інших операцій з ним, протягом семи місяців 2019 р. вилучено понад 947,4 кг бурштину, що в 3,1 рази менше минулорічного показника (понад 2 969,4 кг).

Протягом 2016 р. на половину збільшено вилучення мотопомп порівняно з 2015 р., із 257 до 381. При цьому слід зазначити, що протягом 2017 р. відбулося зменшення кількості вилучених мотопомп порівняно з 2016 р., а саме із 381 до 292 мотопомп (–89). Протягом 2018 р. їхню кількість також зменшено до 153 (майже вдвічі порівняно з 2017 р.). Відповідна тенденція зменшення кількості вилучених мотопомп збереглася в 2019 р., а саме, вилучено 58 мотопомп проти 122 за аналогічний період 2018 р. (–64).

У поточному році закінчено досудове розслідування з направлення до суду обвинувальних актів у два кримінальні провадження, в яких задокументовано діяльність організованих груп у сфері незаконного видобування бурштину (Житомирська та Рівненська обл.), що відповідає показнику 2018 р.

Наведені аналітичні дані щодо стану досудового розслідування у кримінальних провадженнях про незаконне видобування бурштину свідчать про те, що за сім місяців 2019 р. порівняно з минулими роками відповідного періоду ефективність слідчих органів Національної поліції України щодо розкриття та розслідування кримінальних правопорушень зазначеної категорії значно підвищилася. Водночас, мусимо зауважити, що результати проведеного аналізу матеріалів правозастосовної практики за останні роки свідчать про те, що у практичних працівників органів Національної поліції України виникають певні труднощі щодо отримання доказів шляхом проведення окремих процесуальних дій у кримінальних провадженнях про незаконне видобування бурштину. Так, зокрема, одним з ефективних засобів отримання доказів у кримінальних провадженнях про незаконне видобування бурштину є негласні слідчі (розшукові) дії, правова регламентація яких визначена главою 21 чинного Кримінального процесуального кодексу України (КПК України) (*Кримінальний процесуальний кодекс України, 2012*). Ураховуючи те, що негласні слідчі (розшукові) дії проводяться виключно в кримінальних провадженнях про тяжкі та особливо тяжкі злочини (ч. 2 ст. 246 КПК України), за винятком випадків, визначених ст. 264, 268 КПК України, слідчі позбавлені можливості отримувати докази шляхом проведення відповідних негласних слідчих (розшукових) дій, які в окремих випадках є єдиним процесуальним засобом фіксації злочинної діяльності у сфері незаконного видобування бурштину в разі відкриття кримінальних проваджень за фактом вчинення злочинів, передбачених ч. 2, 3 ст. 240 КК України, оскільки вони є злочинами середньої тяжкості.

Водночас проведений нами системний аналіз матеріалів правозастосовної діяльності дає підстави для висновку, що на практиці непоодинокими є випадки, коли слідчі судді незаконно постановляють ухвали або прокурори вживають постанови про проведення негласних слідчих (розшукових) дій для виявлення та фіксації злочинної діяльності у сфері незаконного видобування бурштину в кримінальних провадженнях про злочини середньої тяжкості, передбачені ч. 2, 3 ст. 240 КК України.

Наведена практика виявлення та фіксації злочинної діяльності в зазначеній сфері шляхом проведення негласних слідчих (розшукових) дій є незаконною, а отримані слідчими, прокурорами в такий спосіб докази будуть визнаватися недопустимими відповідно до положень ч. 1 ст. 86 КПК України. Як правило, подібні незаконні факти проведення негласних слідчих (розшукових) дій у кримінальних провадженнях про злочини середньої тяжкості, передбачені ч. 2, 3 ст. 240 КК України, стають предметом заявлення стороною захисту клопотань про визнання доказів недопустимими під час обрання чи зміни заходів забезпечення кримінального провадження, про закриття кримінального провадження на

стадії досудового розслідування або під час судового розгляду відповідних кримінальних проваджень.

Відсутність у чинному КПК України законодавчих приписів щодо можливості проведення негласних слідчих (розшукових) дій у кримінальних провадженнях щодо злочинів середньої тяжкості призвела до того, що слідчі, прокурори для забезпечення подальшого документування злочинної діяльності в цій сфері шляхом застосування таких засобів кримінального процесуального доказування, як негласні слідчі (розшукові) дії за наявності фактичних підстав, що свідчать про вчинення злочину середньої тяжкості, передбаченого ч. 2, 3 ст. 240 КК України, необґрунтовано, в окремих випадках, відкривають кримінальні провадження за ч. 4 ст. 240 КК України. У подальшому ними безпідставно та незаконно приймаються процесуальні рішення про проведення негласних слідчих (розшукових) дій або скеровуються відповідні клопотання до слідчих суддів, які, перевищуючи свої повноваження, постановляють незаконні ухвали про проведення негласних слідчих (розшукових) дій. Провівши відповідні негласні слідчі (розшукові) дії для документування злочинної діяльності у сфері незаконного видобування бурштину, слідчі, прокурори на підставі отриманих результатів змінюють кваліфікацію дій особи з ч. 4 ст. 240 КК України на ч. 2, 3 ст. 240 КК України, водночас отримані протоколи негласних слідчих (розшукових) дій, що не відповідають ознаці допустимості (ч. 1 ст. 86 КПК України), використовуються для обґрунтування: повідомлення про підозру в незаконному видобуванні бурштину, клопотань про застосування заходів забезпечення кримінального провадження або про проведення інших слідчих (розшукових) чи негласних слідчих (розшукових) дій тощо. Такі маніпуляції слідчих, прокурорів із кваліфікацією дій особи суперечать правовим і ґносеологічним засадам кримінального процесуального доказування і лише негативно позначаються на ефективності притягнення винуватих до кримінальної відповідності за незаконне видобування бурштину.

У зв'язку із цим прокурори, як процесуальні керівники та слідчі судді, зважаючи на покладені на них кримінальні процесуальні функції, повинні обов'язково звертати увагу на фактичні та юридичні підстави для проведення негласних слідчих (розшукових) дій (обставини вчиненого кримінального правопорушення, тяжкість вчиненого кримінального правопорушення, його кваліфікацію, їхнє відображення у витязі з Єдиного реєстру досудових розслідувань тощо). Використання негласних слідчих (розшукових) дій для документування злочинної діяльності в зазначеній сфері без належних на те юридичних і фактичних підстав є однією з причин неефективного доказування в кримінальних провадженнях про незаконне видобування бурштину.

У цьому контексті доцільно навести позицію М.В. Багрія та В.В. Луцка, які слушно зазначають, що слідчий суддя, вирішуючи питання щодо надання дозволу на проведення негласних слідчих (розшукових) дій, тим самим визначає їхню допустимість. Адже, ознайомившись з відповідним клопотанням, витягом Єдиного реєстру досудових розслідувань, що додається до нього, а також витребувавши в необхідних випадках матеріали кримінального провадження, слідчий суддя визначає законність підстав для проведення відповідної негласної слідчої (розшукової) дії. Якщо ж таке клопотання є необґрунтованим, або ж подано з порушенням вимог КПК України, то це є безумовною підставою для відмови в наданні дозволу на проведення відповідної негласної слідчої (розшукової) дії (Багрій, Луцк, 2017). При перевірці відповідних клопотань слідчий суддя повинен звертати увагу на наявність достатніх доказів, якими обґрунтовується відповідне клопотання і на підставі яких був зроблений висновок, що дії особи підпадають під

ознаки злочину, передбаченого ст. 240 КК України відповідної тяжкості. Якщо ж у клопотанні слідчого, прокурора про надання дозволу на проведення негласних слідчих (розшукових) дій, а також у витязі з Єдиного реєстру досудових розслідувань наявна одна кваліфікація, водночас у матеріалах кримінального провадження будуть відсутні достатні докази, які б надавали можливість слідчому, прокурору кваліфікувати дії особи відповідним чином, і з матеріалів кримінального провадження вбачатиметься, що дії особи підпадають під ознаки злочину, передбаченого ст. 240 КК України іншої тяжкості, то слідчий суддя повинен відмовити слідчому, прокурору в наданні дозволу на проведення відповідних негласних слідчих (розшукових) дій.

Водночас, зважаючи на те, що факти незаконного видобування бурштину завдають суттєвої шкоди нашій державі, знищуючи значну частину лісових масивів, земельних угідь, ґрунтових і рослинних покривів, а також ураховуючи численні факти вчинення злочинів, передбачених ч. 1, 2 ст. 240 КК України за останні роки, ефективність виявлення та розкриття яких можлива лише в разі застосування таких засобів кримінального процесуального доказування, як негласні слідчі (розшукові) дії, на нашу думку, у чинному КПК України потрібно передбачити можливість проведення негласних слідчих (розшукових) дій не лише щодо тяжких чи особливо тяжких, а також і щодо злочинів середньої тяжкості.

Під час здійснення досудового розслідування в кримінальних провадженнях про незаконне видобування бурштину певні проблемні питання виникають під час отримання доказів шляхом залучення експерта для проведення експертизи. Так, зокрема, до кінця 2018 р. існувала проблема щодо використання в кримінальному процесуальному доказуванні результатів судово-гомологічної експертизи, об'єктом якої був незаконно видобутий бурштин-сирець, через відсутність експертів з відповідною кваліфікацією в експертних установах Міністерства внутрішніх справ. Єдиним державним інститутом проведення незалежної експертизи дорожнього, дорожнього органогенного, напівдорожнього та декоративного каміння був Державний гомологічний центр України Міністерства фінансів України, розташований в м. Києві. Проте складений спеціалістами Державного гомологічного центру України Міністерства фінансів України висновок за результатами проведеної експертизи гомологічних досліджень не в усіх випадках визнавався судами доказом у кримінальному провадженні, оскільки Державний гомологічний центр України Міністерства фінансів України відповідно до положень ст. 7 Закону України "Про судову експертизу" (Про судову експертизу..., 1994) не належить до переліку державних спеціалізованих установ, уповноважених видавати судово-експертну діяльність. Варто зазначити, що за ініціативою Головного слідчого управління Національної поліції України та Державного науково-дослідного експертно-криміналістичного центру Міністерства внутрішніх справ (МВС) розроблено наказ МВС від 22 листопада 2016 р. № 1229, яким внесено зміни до Положення про Експертно-кваліфікаційну комісію МВС України та атестацію судових експертів Експертної служби МВС, а саме, запроваджено такий напрям судової експертизи, як гомологічна експертиза. У зв'язку із цим з грудня 2018 р. в Державному та Волинському науково-дослідних експертно-криміналістичних центрах МВС запроваджено новий напрям судово-гомологічної експертизи за експертною спеціальністю 17.1 "Дослідження дорожнього, напівдорожнього та декоративного каміння". У відповідних підрозділах здійснено матеріально-технічне оснащення лабораторій та введено по дві посади судових експертів, які пройшли підготовку в науково-навчальному інституті

"Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка та отримали кваліфікацію судових експертів за відповідним видом судової експертизи. Ураховуючи те, що необхідність проведення такого роду експертизи виникає практично в кожному кримінальному провадженні про незаконне видобування бурштину для забезпечення своєчасності використання висновків експертів як доказів у кримінальному провадженні, потрібно запровадити напрям судово-геологічної експертизи за експертною спеціальністю 17.1 "Дослідження дорогоцінного, напівдорогоцінного та декоративного каміння" і в інших державних науково-дослідних експертних установах МВС і забезпечити належне матеріально-технічне оснащення їхніх лабораторій.

Ефективність боротьби із фактами незаконного видобування бурштину безумовно залежить від розробки та прийняття відповідних законодавчих актів, які б чітко регламентували відносини щодо видобування та реалізації бурштину, установлювали відповідальність за будь-які незаконні дії, пов'язані з бурштином. З моменту проголошення незалежності нашої держави до Верховної Ради України подавали значну кількість законопроектів, спрямованих на врегулювання діяльності щодо видобування та реалізації бурштину, але до цього часу жоден із них не був прийнятий. Зауважимо, що в Україні немає окремого законодавчого акта, який би докладно регламентував відповідні відносини. Частково ця діяльність визначається нормами Кодексу України про надра, Земельного та Кримінального кодексів України, Кодексу України про адміністративні правопорушення, а також Законами України: "Про державне регулювання видобутку, виробництва і використання дорогоцінних металів і дорогоцінного каміння та контроль за операціями з ними", "Про угоди про розподіл продукції", "Про землеустрій", "Про митний тариф України", "Про порядок виділення в натурі (на місцевості) земельних ділянок власникам земельних часток (паїв)", Гіричним законом України, а також окремими відомчими нормативно-правовими актами.

При цьому слід звернути увагу на те, що відповідальність за незаконне видобування бурштину визначена ст. 240 КК України. Так, зокрема, диспозиціями зазначеної статті передбачено, що:

1. Порушення встановлених правил охорони надр, якщо це створило небезпеку для життя, здоров'я людей чи довкілля, – карається штрафом від трьохсот до шестисот неоподатковуваних мінімумів доходів громадян або обмеженням волі на строк до двох років, або позбавленням волі на той самий строк.

2. Порушення встановлених правил використання надр, якщо це створило небезпеку для життя, здоров'я людей чи довкілля, а також незаконне видобування корисних копалин загальнодержавного значення – карається штрафом від чотирьохсот до семисот неоподатковуваних мінімумів доходів громадян або обмеженням волі на строк до трьох років, або позбавленням волі на той самий строк.

3. Діяння, передбачені частинами першою або другою цієї статті, вчинені на територіях чи об'єктах природно-заповідного фонду або вчинені повторно, – караються обмеженням волі на строк від двох до п'яти років або позбавленням волі на той самий строк.

4. Діяння, передбачені частинами першою, другою або третьою цієї статті, якщо вони вчинені шляхом підпалу, вибуху чи іншим загальнонебезпечним способом або спричинили загибель людей, їхнє масове захворювання, або інші тяжкі наслідки, – караються позбавленням волі на строк від п'яти до восьми років (Кримінальний кодекс України, 2001).

За нормами КК України, діяння, що передбачене ч. 1 ст. 240 КК України, є злочином невеликої тяжкості, ч. 2

ст. 240 КК України – злочином середньої тяжкості, ч. 3 ст. 240 КК України – злочином середньої тяжкості, ч. 4 ст. 240 КК України – тяжким злочином.

19 грудня 2019 р. прийнято Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення законодавства про видобуток бурштину та інших корисних копалин", яким доповнено КК України статтею 240-1 "Незаконне видобування, збут, придбання, передача, пересилання, перевезення, переробка бурштину". Зазначена стаття передбачає кримінальну відповідальність за такі дії:

1. Незаконне видобування бурштину, а так само збут, придбання, зберігання, передача, пересилання, перевезення, переробка бурштину, законність походження якого не підтверджується відповідними документами – караються штрафом від трьох тисяч до десяти тисяч неоподатковуваних мінімумів доходів громадян або обмеженням волі на строк від двох до трьох років, або позбавленням волі на той самий строк.

2. Ті самі дії, якщо вони вчинені повторно або в значних розмірах, або на територіях чи об'єктах природно-заповідного фонду, – караються позбавленням волі на строк від чотирьох до семи років з конфіскацією майна.

3. Дії, передбачені частиною першою цієї статті, вчинені службовою особою шляхом використання свого службового становища, – караються позбавленням волі на строк від п'яти до восьми років з конфіскацією майна.

Примітка. Під значним розміром у цій статті слід розуміти вартість бурштину, що в сто і більше разів перевищує неоподатковуваний мінімум доходів громадян (Про внесення змін до деяких законодавчих актів..., 2019).

Доцільно звернути увагу, що, будучи одним із проектів законів України, направлених на розширення правового регулювання охорони бурштину (зокрема, це: "Проект Закону про внесення змін до Кримінального кодексу України щодо кримінальної відповідальності за незаконне видобування бурштину або переміщення його через митний кордон України" № 2059 від 04 вересня 2019 р., внесений Президентом України; "Проект Закону про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо врегулювання питання видобутку бурштину" № 2240 від 08 жовтня 2019 р., внесений Кабінетом Міністрів України; "Проект Закону про внесення зміни до ст. 252 Податкового кодексу України щодо впорядкування розміру ставки рентної плати за користування надрами для видобування бурштину" № 2241 від 08 жовтня 2019 р., внесений Кабінетом Міністрів України), він комплексно з іншими піддавався обґрунтованій критиці.

Наперед зазначимо, що логічніше було б внести відповідні зміни і доповнення до ст. 240 КК України, яка на сьогодні й передбачає загальну кримінальну відповідальність за незаконне видобування корисних копалин, у тому числі й за незаконне видобування бурштину, а не окремо встановлювати кримінальну відповідальність за незаконне видобування бурштину з-поміж інших корисних копалин, адже в такому випадку порушується логіка юридичної техніки формулювання диспозицій КК України.

Подібні зауваження висловили і фахівці Головного науково-експертного управління Верховної Ради України у своєму висновку від 07.11.19. Зокрема, "по-перше, згідно з Переліком корисних копалин загальнодержавного значення, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 827 від 12 грудня 1994 р., бурштин є лише одним із видів корисних копалин загальнодержавного значення, а отже, і запропонована спеціальна норма (ч. 1 ст. 240-1 КК) не характеризується якимись додатковими (новими) ознаками відповідного складу злочину і повністю охоплюється суспільно небезпечним діянням у вигляді незаконного видобування корисних копалин загальнодержавного значення (ч. 2 ст. 240 КК).

По-друге, за логікою проекту КК варто доповнювати також й іншими статтями про незаконне видобування окремих видів корисних копалин (нафти, газу, антрациту, бурого вугілля тощо). Однак це лише ускладнить сприйняття відповідних кримінально-правових норм та/або призведе до помилок у кваліфікації злочинів. По-третє, зіставлення санкцій ч. 2 ст. 240 КК та ч. ст. 240-1 КК дозволяє стверджувати, що за ступенем тяжкості як незаконне видобування корисних копалин загальнодержавного значення (крім випадків, передбачених іншими статтями цього Кодексу), так і незаконне видобування бурштину належить до категорії злочинів середньої тяжкості (див. ч. 3 та 6 ст. 12 КК). Отже, доповнення КК окремим складом злочину у вигляді незаконного видобування бурштину (ч. 1 ст. 240-1 КК) не відповідає загальноприйняттю у теорії кримінального права положенням про те, що поява спеціальної норми мала б бути обумовлена підвищенням (пониженням) рівнем суспільної небезпечності діяння порівняно з тим, відповідальність за вчинення якого передбачена загальною нормою (у даному випадку – ч. 2 ст. 240 КК)" (*Висновок ... про внесення змін до Кримінального кодексу...*, 2019).

Проектом Закону України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо врегулювання питання видобутку бурштину" № 2240 від 08.10.19 (який набрав чинності 29.12.19 р.) було запропоновано внести відповідні зміни до Кодексу України про надра, Земельного та Кримінального кодексів України, Кодексу України про адміністративні правопорушення, законів України "Про державне регулювання видобутку, виробництва і використання дорогоцінних металів і дорогоцінного каміння та контроль за операціями з ними", "Про угоди про розподіл продукції", "Про землеустрій", "Про митний тариф України", "Про порядок виділення в натурі (на місцевості) земельних ділянок власникам земельних часток (паїв)", Грничого закону України (*Проект Закону "Про внесення змін до деяких законодавчих актів..."*, 2019). При цьому, як і Президентським законопроектом, так і цим, пропонувалося доповнити КК України новою ст. 240-1 КК України, що, власне, у комплексі з іншими змінами відбулося. Однак у тексті проекту ця норма відрізняється від прийнятого Закону лише ч. 3 ст. 240-1 КК України, а також назвою статті, зміни до якої були враховані згідно з рекомендаціями Головного науково-експертного управління Верховної Ради України щодо того, що назва запропонованої ст. 240-1 КК України не відображає зміст диспозиції ч. 1 цієї статті. Зокрема, у назві статті йдеться виключно про незаконне видобування бурштину, тоді як у ч. 1 даної статті серед альтернативних діянь об'єктивної сторони запропонованого складу злочину згадується також збут, придбання, зберігання, передача, пересилання, перевезення, переробка бурштину, законність походження якого не підтверджується відповідними документами.

Як бачимо, розробники зазначеного законопроекту, що став Законом України, при визначенні кримінальної відповідальності за незаконне видобування бурштину допустилися такої ж помилки, як і розробники законопроекту № 2059. Головне науково-експертне управління Верховної Ради України, аналізуючи зміст відповідних пропозицій в законопроектах звертало увагу на таке:

"...2) Не заперечуючи того факту, що незаконне видобування бурштину завдає істотної шкоди довкіллю (або створює реальну загрозу завдання такої шкоди) та є відносно поширеним явищем на території окремих областей України (так, за підрахунками експертів обсяги незаконного видобутку бурштину становлять від 120 до 300 т на рік ("*Бурштинова лихоманка*" загрожує..., н.д.), пропозицію законопроекту щодо доповнення КК України новою спеціальною нормою (ст. 240-1 КК України в ре-

дакції проекту) не можна визнати доцільною. Така позиція Головного управління обумовлена тим, що, по-перше, згідно з Переліком корисних копалин загальнодержавного значення, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 грудня 1994 р. № 827, бурштин є лише одним із видів корисних копалин загальнодержавного значення, а отже, і запропонована спеціальна норма (ч. 1 ст. 240-1 КК України в редакції проекту) не характеризується якимись додатковими (новими) ознаками відповідного складу злочину та повністю охоплюється суспільно небезпечним діянням у вигляді незаконного видобування корисних копалин загальнодержавного значення (ч. 2 ст. 240 КК України). По-друге, якщо слідувати зазначеній вище логіці, КК України варто доповнювати також іншими самостійними (окремими) складами злочинів (скажімо, статтями щодо незаконного видобування нафти, антрациту, бурого вугілля тощо). Останнє, у свою чергу, лише ускладнить сприйняття відповідних кримінально-правових норм та/або призведе до помилок у кваліфікації злочинів;

3) У законопроекті пропонується сформулювати санкцію ч. 1 ст. 240-1 КК у такій редакції: "караються штрафом від трьох до десяти тисяч неоподатковуваних мінімумів доходів громадян або обмеженням волі на строк від трьох до шести років, або позбавленням волі на той самий строк з конфіскацією майна". Однак така санкція виглядає явно надмірною, оскільки за ч. 1 цієї статті злочинними стають, зокрема, і придбання, зберігання, передача, пересилання, перевезення, переробка бурштину, законність походження якого не підтверджується відповідними документами, у тому числі й випадки вчинення відповідних дій без мети збуту та/або у незначних розмірах тощо" (*Висновок ... про внесення змін до деяких законодавчих актів...*, 2019).

Незважаючи на наведені зауваження, 12 листопада 2019 р. Верховна рада України прийняла за основу проект Закону "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо врегулювання питання видобутку бурштину" № 2240 від 8 жовтня 2019 р., яким запроваджується:

1) кримінальна відповідальність за незаконний видобуток, збут, придбання, зберігання, передачу, пересилання, перевезення, переробку корисних копалин, законність походження яких не підтверджується відповідними документами та за ухилення від рекультивациі земель;

2) тимчасовий мораторій на вивезення необробленого бурштину за кордон і вимога застосування сертифікованого обладнання для його комплексного видобутку;

3) механізм резервування земельних ділянок для потреб надкористування до початку проведення аукціону чи конкурсу;

4) єдиний дозвіл на розвідку із правом видобування строком на 5 років на ділянки до 10 га з визначенням початкової вартості продажу на аукціоні (*Інформаційне управління апарату...*, 2019). А 19.12.19 прийняла відповідні зміни до законодавства.

Варто зазначити, що ст. 240-1 КК України набула чинності 29.12.19 із частковими врахуваннями зауважень Головного науково-експертного управління Верховної Ради України. Проте її запровадження, незважаючи на неузгодженість із загальними правилами побудови норм в КК України, а також внесення інших змін до відповідних законодавчих актів України, частково вплине на правову охорону видобування бурштину в нашій державі.

Видається, що на найвищому рівні абстрагування необхідно врахувати думку М.Ф. Головатого, що визначення проблем має здійснюватися в політико-правовому, соціально-організаційному, духовно-моральному та інших аспектах, а також шляхом виокремлення об'єктивних факторів і створення належних умов для забезпечення ті-

Holovaty, M. (2015). The state and society: The conceptual foundations and social interaction in the context of formation and functioning of states. *Economic Annals-XXI*, 9–10, 4–8.

Kyselov, A.O. (2019). Combating illegal amber mining: peculiarities of conflict resolution. *Naukovyi Visnyk NHU*, 2, 146–152. DOI: 10.29202/nvngu/2019-2/19

Reference

- Alekseeva-Protsyuk, D.O., Bryskovskaya, O.M. (2015). Features of pre-trial investigation of illegal extraction of minerals (raw amber). *Customs*, 1 (2.1), 74–80. [in Ukrainian]
- "Amber Fever" is threatening Ukraine with an environmental disaster. (n.d.). Retrieved January 4, 2020, from <https://p.dw.com/p/1I2rK> [in Ukrainian]
- Bagriy, M., Lutsyk, V. (2017). Some Problems of Legislative Regulation of Holding Unofficial Investigative Actions. *Law of Ukraine*, 12, 42. [in Ukrainian]
- Criminal Code of Ukraine of 05.04.2001 № 2341-III.(2001). Retrieved January 4, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14?find=1&text=%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3#w11> [in Ukrainian]
- Criminal Procedure Code of Ukraine, 13 April 2012 No. 4651-VI.(2012). Retrieved January 4, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4651-17> [in Ukrainian]
- Draft Law of Ukraine "On Amendments to Article 252 of the Tax Code of Ukraine Regulating the Amount of the Rental Rate for the Use of Amber for Mining", 08 October 2019 No. 2241. (2019). Retrieved January 4, 2020, from http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=67040 [in Ukrainian]
- Draft Law of Ukraine "On Amendments to the Criminal Code of Ukraine on the Criminal Liability for Illegal Extraction of Amber or Move It Across the Customs Border of Ukraine", 4 September 2019 No. 2059.(2019). Retrieved January 4, 2020, from http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=66672 [in Ukrainian]
- Draft Law of Ukraine "On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Regulation of the Amber Production Issue", 08/10/2019 No. 2240. (2019). Retrieved January 4, 2020, from: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=67039 [in Ukrainian]
- Holovaty, M. (2015). The state and society: The conceptual foundations and social interaction in the context of formation and functioning of states. *Economic Annals-XXI*, 9–10, 4–8.
- Information Department of the Verkhovna Rada of Ukraine (2019). Passed the draft law "On amendments to some legislative acts of Ukraine regarding the settlement issue amber mining", 12 November 2019. Retrieved January 4, 2020, from <https://rada.gov.ua/news/Novyny/184275.html> [in Ukrainian]
- Kovalevsky, S.B., Kovalevsky, S.S., Dolid, A.L. (2019). State of forest areas of SC "Sarnenske forestry" disturbed by illegal amber production. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 29, 7, 96–100. [in Ukrainian]
- Kyselov, A. O. (2019). Combating illegal amber mining: peculiarities of conflict resolution. *Naukovyi Visnyk NHU*, 2, 146–152. DOI: 10.29202/nvngu/2019-2/19
- Nesterovsky, V. A. (2006). Geology and gemological evaluation of the gemstone raw material of sedimentary formations of Ukraine. *Extended abstract ... Doctor's thesis (Geol. Sci.)*. Kyiv. [in Ukrainian]

Nesterovsky, V.A. (2008). Substance composition and hemologic evaluation of Ukrainian amber. *Materials of the First International Scientific and Practical Conference "Ukrainian Amber World"*, Kyiv, 93–97. [in Ukrainian]

On Amendments to Some Legislative Acts of Ukraine Concerning Improvement of Legislation on Mining Amber and Other Minerals. (2019). The Law of Ukraine, 19.12.2019 № 402-IX. Retrieved January 4, 2020, with <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/402-20> [in Ukrainian]

On Approval of the Procedure for Granting Special Permits for the Use of Subsoil. (2011). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine, 30.05.2011 No. 615. Retrieved January 4, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/615-2011-%D0%BF> [in Ukrainian]

On Forensic Examination. (1994). Law of Ukraine, 25.02.1994 No. 4038-XII. Retrieved January 4, 2020, from <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/4038-12> [in Ukrainian]

On the Protection and Use of the Klesiv Amber Field in Rivne Region. (1992). Order of the President of Ukraine, 02.06.1992 No. 98/92-rp. Retrieved January 4, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/98/92-%D1%80%D0%BF> [in Ukrainian]

On the State Regulation of the Extraction, Production and Use of Precious Metals and Precious Stones and Control Over Their Operations. (1997). Law of Ukraine, 18.11.1997 No. 637/97-BP. Retrieved January 4, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/637/97-%D0%B2%D1%80> [in Ukrainian]

Opinion of the Chief Scientific and Expert Administration of 07.11.2019 on "Draft Law on Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Regulation of Amber Extraction", 8 October 2019 No. 2240. (2019). Retrieved January 4, 2020, from http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=67039 [in Ukrainian]

Opinion of the Chief Scientific and Expert Directorate of 07.11.2019 on the "Draft Law on Amendments to the Criminal Code of Ukraine on the Criminal Liability for Illegal Extraction of Amber or Move It Across the Customs Border of Ukraine" No. 2059 of 04 September 2019". (2019). Retrieved January 4, 2020, from https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc77_1?pf35401=508683&pcaption=%C2%E8%F1%ED%EE%E2%EE%EA%20%C3%EE%EB%EE%E2%ED%EE%E3%EE%20%ED%E0%F3%EA%EE%E2%EE-%E5%EA%F1%EF%E5%F0%F2%ED%EE%E3%EE%20%F3%EF%F0%E0%E2%EB%B3%ED%ED%FF%20%2007.11.2019 [in Ukrainian]

Rud'ko, H.I., Lytvynuk, S.F. (2017). Amber deposits of Ukraine and their geological and economic assessment. Kyiv-Chernivtsi: Bookrek. [in Ukrainian]

Sakharova, O.B., Zablotskaya, O.Yu. (2016). The Problem of Illegal Amber Extraction in Ukraine: Ways to Solve (Criminological Aspect). *Science and law enforcement*, 4, 207–213. [in Ukrainian]

Silko, V. V. (2017). The subject of criminal assault as an element of the forensic characteristic of illegal amber production. *Issues of combating crime*, 34, 192–210. [in Ukrainian]

Tatarov, O. Yu., Marko, S. I. (2014). Forensic characteristics of violation of the rules of protection or use of subsoil on the example of illegal extraction of amber. *Bulletin of the Lviv State University of Internal Affairs. the legal series*, 3, 273–285. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 21.05.20

O. Kuchynska, Dr. Sci. (Law), Prof.,
E-mail: 2000_oksana@ukr.net,
ORCID iD 0000-0003-3464-4798,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Law,
60 Volodymyrska Str., Kyiv, 01601, Ukraine;
V. Nesterovsky, Dr. Sci. (Geol.), Prof., Director of the Geological Museum,
E-mail: v.nesterovski@ukr.net,
ORCID iD 0000-0002-7065-8962,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;
O. Starenkyi, Cand. Sci. (Law), Lecturer,
E-mail: xander20082@gmail.com,
ORCID iD 0000-0002-4517-726X,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Law,
60 Volodymyrska Str., Kyiv, 01601, Ukraine;
Y. Tsyganyuk, Cand. Sci. (Law), Assoc. Prof.,
E-mail: smuchok82@gmail.com,
ORCID iD 0000-0002-8495-3583,
Khmelnitsky Institute of Interregional Academy of Personnel Management,
101 a Myru Ave., Khmelnytsky, 29015, Ukraine

ILLEGAL AND UNCONTROLLED AMBER'S EXTRACTION AND MEASURES TO COMBAT IT

Significant increase in the demand for amber in the world gives rise to a multitude of complex problems in Ukraine, related not only to geology and mineral resources use, but also economy, legislation and other aspects of life. The prevention and control of crimes related to illegal amber's extraction are provided through various activities and methods. One of them is the implementation of the laws of Art. 240 of the Criminal Code of Ukraine through criminal prosecution. It is implemented by applying rules of criminal procedural law: individuals' actions qualification during adding data to the Unified Register of pre-trial investigations, enforcement of criminal proceedings, evidence providing in cases involving illegal amber's extraction, etc. Thus, as a consequence, there is a necessity to conduct theoretical and legal analysis, to develop practical recommendations to ensure the effective application of combatting measures against illegal amber's extraction during the implementation of evidence in criminal proceedings.

In particular, the authors emphasize among these measures specific unspoken investigative actions, as they can provide appropriate, valid and credible evidence against illegal extraction of amber; individuals' actions qualification with the availability of actual grounds, which indicate committing of moderate gravity crime, provided for by part 2, part 3 of Article 240 of the Criminal Code of Ukraine and Part 4 of Article 240 of the Criminal Code of Ukraine is defined as unjustified.

In order to avoid issues mentioned above, it has been proposed to assume the possibility of conducting unspoken investigative activities in the current Criminal Procedural Code of Ukraine not only in relation to grave crimes or felonies, but also in relation to crimes of moderate gravity.

Keywords: amber, illegal amber's extraction, pre-trial investigation, investigative activities, criminal proceedings.

О. Кучинская, д-р юрид. наук, проф.,
E-mail: 2000_oksana@ukr.net,
ORCID iD 0000-0003-3464-4798,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ул. Владимирская, 60, г. Киев, 01601, Украина;
В. Нестеровский, д-р геол. наук, проф., директор Геологического музея,
E-mail: v.nesterovski@ukr.net,
ORCID iD 0000-0002-7065-8962,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
УНІ "Інститут геології", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина;
А. Старенький, канд. юрид. наук, препод.,
E-mail: xander20082@gmail.com,
ORCID iD 0000-0002-4517-726X,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ул. Владимирская, 60, г. Киев, 01601, Украина;
Ю. Циганюк, канд. юрид. наук, доц.,
E-mail: smuchok82@gmail.com,
ORCID iD 0000-0002-8495-3583,
Хмельницький інститут Межрегіональної Академії управління персоналом,
пр. Мира, 101, а, г. Хмельницький, 29015, Украина

НЕЗАКОННАЯ ДОБЫЧА ЯНТАРЯ И МЕРЫ БОРЬБЫ С НЕЙ

Существенное увеличение спроса на янтарь в мире обусловило возникновение в Украине целого ряда проблем, связанных не только с геологией и недропользованием, но и экономикой, правом и другими сферами жизнедеятельности общества. Предотвращение и борьба с преступлениями, связанными с незаконной добычей янтаря, осуществляется с помощью различных мероприятий и методов. Одним из них является реализация норм ст. 240 Уголовного кодекса Украины через привлечение виновных лиц к уголовной ответственности, которое происходит путем применения норм уголовного процессуального права: квалификации действий лиц при внесении сведений в Единый реестр досудебных расследований, применения мер обеспечения уголовного производства, осуществления доказывания по делам, связанным с незаконной добычей янтаря и др. Именно поэтому есть необходимость в проведении теоретического и правового анализа, разработке практических рекомендаций для обеспечения эффективности применения мер по борьбе с незаконной добычей янтаря при осуществлении доказывания в уголовных производствах.

Среди таких мер авторы выделяют негласные следственные (розыскные) действия, поскольку с их помощью можно получить надлежащие, допустимые и достоверные доказательства незаконной добычи; квалификация действий лиц, при наличии фактических оснований, свидетельствующих о совершении преступления средней тяжести, предусмотренного ч. 2, 3 ст. 240 УК Украины по ч. 4 ст. 240 УК Украины, определена как необоснованная; во избежание вышесказанного, предложено в действующем УПК Украины предусмотреть возможность проведения негласных следственных (розыскных) действий не только по тяжким либо особо тяжким, а также и по преступлениям средней тяжести.

Ключевые слова: янтарь, незаконная добыча янтаря, досудебное расследование, негласные следственные (розыскные) действия, уголовное производство.

UDC 553.41:551.435.11(477)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.10>

K. Derevska¹, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: zimkakatya@gmail.com;
O. Aleksandrov², Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: alex2ce@gmail.com;
V. Berehovenko³, PhD student,
E-mail: jkglok@gmail.com;
M. Kovalchuk², Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: kms1964@ukr.net;
K. Rudenko⁴, Cand. Sci. (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: rudenkoksniav@gmail.com;
G. Silchenko⁵, Director,
E-mail: sial202@gmail.com;
R. Spytzia⁶, Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher,
E-mail: spytzyaroman@ukr.net;
¹National University of Kyiv-Mohyla Academy,
2 Skovorody Str., Kyiv, 04655, Ukraine;
²Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine,
55 b O. Gonchar Str., Kyiv, 01601, Ukraine;
³State Scientific Institution "Center for Problems of Marine Geology,
Geocology and Sedimentary Ore Formation of the NAS of Ukraine",
55b O. Gonchar Str., Kyiv, 01601, Ukraine;
⁴The National Museum of Natural History at the NAS of Ukraine,
15 B. Khmelnitsky Str., Kyiv, 01030, Ukraine;
⁵Geological company "Geomandry",
Ap. 115, 2 Entusiastiv Str., Kyiv, 02154, Ukraine;
⁶Institute of Geography of the NAS of Ukraine,
44 Volodymyrska Str., Kyiv, 01030, Ukraine

PROSPECTS OF THE DNIESTER RIVER FLOODPLAIN TERRACES STRATA FOR GOLD MINERALIZATION

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

Despite long-term geological study of the Dniester River basin, we still have no clear evidences about gold-bearing potentiality of this area as well as origin of gold. The leading role of geological, geochemical and mineralogical criteria is proved for defining the prospects of substantial gold deposits finding within the Dniester river basin. Gold was found here in the crystalline basement and in the sedimentary cover rocks. Study of mineralogy and lithology of the terraces above the flood-plain and typomorphic peculiarities of native gold shows that palaeogeographic conditions and alimentation zones of debris vary at the different tectonic stages of this area development. Gold-bearing potential of the Pliocene-Quaternary sediments in the Dniester River basin is related to the Pliocene (VI-IX terraces above the flood-plain) and Quaternary (I-V terraces above the flood-plain) terraces complex of the Dniester river, as well as this river and its inflows recent alluvia.

Our study of the Mid-flow part of the Dniester river basin allow to conclude that native gold was found in geological strata of all ages, from Proterozoic up to the recent alluvium. This fact points the necessity of further prospecting to find the mother lodes of gold. Our field study, samples analyses made as well as publications observation allow highlighting the principal directions of further prospecting and evaluation works. The main among that are: 1) comprehensive study of river Dniester alluvia and its terraces complex (previously VI-VII terraces), that will allow to specify their material composition, to assess real gold-bearing potential and to define the history of denudation areas changes; 2) lithogeochemical prospecting of primary and secondary dispersion haloes to clear the principal gold-bearing regularities; 3) definition of prospect plots within the area described; 4) modern analytical approach study of typomorphic peculiarities of native gold from alluvia and terrace deposits to define its ore formational affinity and mineral type.

Keywords: gold, Dniester river basin, floodplain terraces.

Actuality. Gold-bearing potential of the Dniester River and its left inflows alluvium as well as the Dniester terrace complex is an object of great interest to study. Sedimentary rocks contain native gold here and they can be indicators of the ways of gold palaeotransportation into the Dniester alluvium during various stages of the river system neotectonic history.

Terraces complex study is always very important task during geomorphological and palaeogeographic research. River terraces are indicators of climate conditions changes and tectonic movements. Alluvial deposits terraces are the principal instrument for stratigraphic correlation of distant continental deposits sections of different structural position and conditions of their formation. The latter can be reconstructed with the aid of deposits correlation.

The purpose of our researches is the study of VI and VII floodplain terraces alluvial deposits to clear these gold-bearing potential.

A brief description of the territory studied geological structure. Ancient Podolska fault zone of NW strike is the principal tectonic element that determines the structure of whole studied region. Width of this zone reaches 50 km, in contrast vertical movements are not exceed 50 m. Faults of this zone are indistinct on the surface and in the drillholes

core. These faults appear as intensive fracture areas and minor thick mylonite sews of slip type in the sedimentary cover. Mylonites and cataclastic rocks are prevalent along with contacts of Bugska series metamorphic rocks and granitoids of Lower Proterozoic Berdychivskyy complex. Other large faults are sublongitudinal Odessky (near Chervonoznamenska village) as well as NE zone of Nemyrivskyy fault (near Soroka town) and Pereddnistrovskyy (in vicinity of Yampol town). All the faults were re-activated many times during the platform cover formation. More comprehensive structure of studied region appears after geophysical and remote sensing data interpretation.

Previous researches for gold-bearing prospects within the river Dniester basin. Gold prospecting in the river Dniester basin upper flow started only after the World War II. Contribution of V.D. Salnikov, 1964, V.V. Grytskyin, 1971, V.T. Kardashin, 1972, 1974, V.O. Ageevin, 1982, Yu.O. Averinin, 1988, V.K. Iatsunin, 1997 deserve to be highlighted. Gold was found in conglomerates in the Truskavets base metal deposit, in contrast the alluvium of Dniester and its inflows show only 1-2 signs of gold.

New stage of geological study of the *river Dniester basin mid flow* started at 60's of XX century engaging drilling and geological mapping in 1 : 200 000 i 1 : 50 000 scales along

with prospecting, particularly for gold (*Arkhanhelskaia*, 1983; *Bratslavskiy et al.*, 1983; *Velykanov et al.*, 1968; *Nechaiev and Afanasieva*, 1990; *Latsun*, 1997 and many other researchers). Generally geological studies revealed great prospect for various minerals within the Dniester Peri-Cratonic Belt.

Various aspects of stratigraphy, lithology, tectonics, metallogenesis of this region are highlighted in numerous papers and monographs, in part by V.V. Arkhangel'ska, O.O. Aseeva, P.D. Bukatchuk, M.F. Veklich, V.Ya. Velykanov, K.I. Derevska, R.M. Dovhan, A.Ya. Drevin, E.Ya. Zhovinskyy, V.S. Zaika-Novatskyy, M.S. Kovalchuk, G.S. Kompanets, L.I. Konstantinenko, L.V. Korenchuk, S.V. Nechaiev, V.M. Pavliuk, O.V. Pavliuk, V.A. Prisyazhnyuk, A.Ya. Radzivil, V.O. Shumlianskyi (*Velykanov et al.*, 1968; *Shumlianskyi and Derevska*, 1995; *Derevska*, 1992, 2008; *Dovhan et al.*, 2002; *Pavliuk et al.*, 2008; *Kovalchuk et al.*, 2001, etc.).

V.Ya. Velykanov firstly found gold placer in the Dniester river bed as well along the Derla and Nemiya rivers (Mohyliv-Podiskyy concentrate halo) using panning and geochemical method (*Velykanov et al.*, 1968). Gold content reaches 2,8 g/m³ in some samples (*State geological map*, 2007). M. Ianhycher also gave positive assessment of gold prospects for recent alluvium in the Mohyliv-Podiskyy area. He found association among gold, cinnabar and realgar in the heavy mineral concentrates. Thematic researches and searching for flint by Piya et al. (1972) found gold in the alluvial deposits of II-III and V floodplain terraces.

V.K. Latsun (*Latsun*, 1997) found Naddnistrianskyy, Dereshivskyy and Rozdolivskyy gold occurrences in the

Pliocene floodplain terraces deposits. R.M. Dovhan and V.M. Pavliuk (*Dovhan et al.*, 2002; *Pavliuk et al.*, 2008) gave great contribution to the gold-bearing study in the Dniester River basin mid-flow. They ascertained prospective plots for gold and described prospective geological formational units.

Prospects of Western Black Sea Area for gold were studied by Ye.F. Shnyukov in 1999, 2000 and O.O. Yushin in 1998–2005. Today this territory is considered as prospective for thin and dispersed gold. Prospects for gold of the *Dniester River lower flow (from Rybnitsa town to the Dniester estuary)* is not clear today.

Thus, studies in the region described reveal gold mineralization in the Pliocene-Quaternary alluvium of the river Dniester and its inflows along with significant distance – from Zalishchyky town to Mohyliv-Podilskyy town (Fig. 1). Two large prospective areas are ascertained – Melnitsa-Podilska and Mohyliv-Podilska. Inside these areas some plots are found, where native gold content in the Pliocene-Quaternary deposits is increased. Gold extent and its content in the alluvium grow from 13 mg/m³ to 32,1 mg/m³ in the meanders (*Derevska*, 2008).

Clastic gold in association with silver sulphosalts, galena, lead tellurides and chalcopyrite is present in terrigenous deposits of Mohyliv series of Middle Dniester Vendian that overlays flood basalts or crystalline basement. More significant concentrations of native gold in association with galena, sphalerite, cinnabar and auripigment are found in the recent alluvium of the Dniester River and its inflows (*Derevska*, 2008).

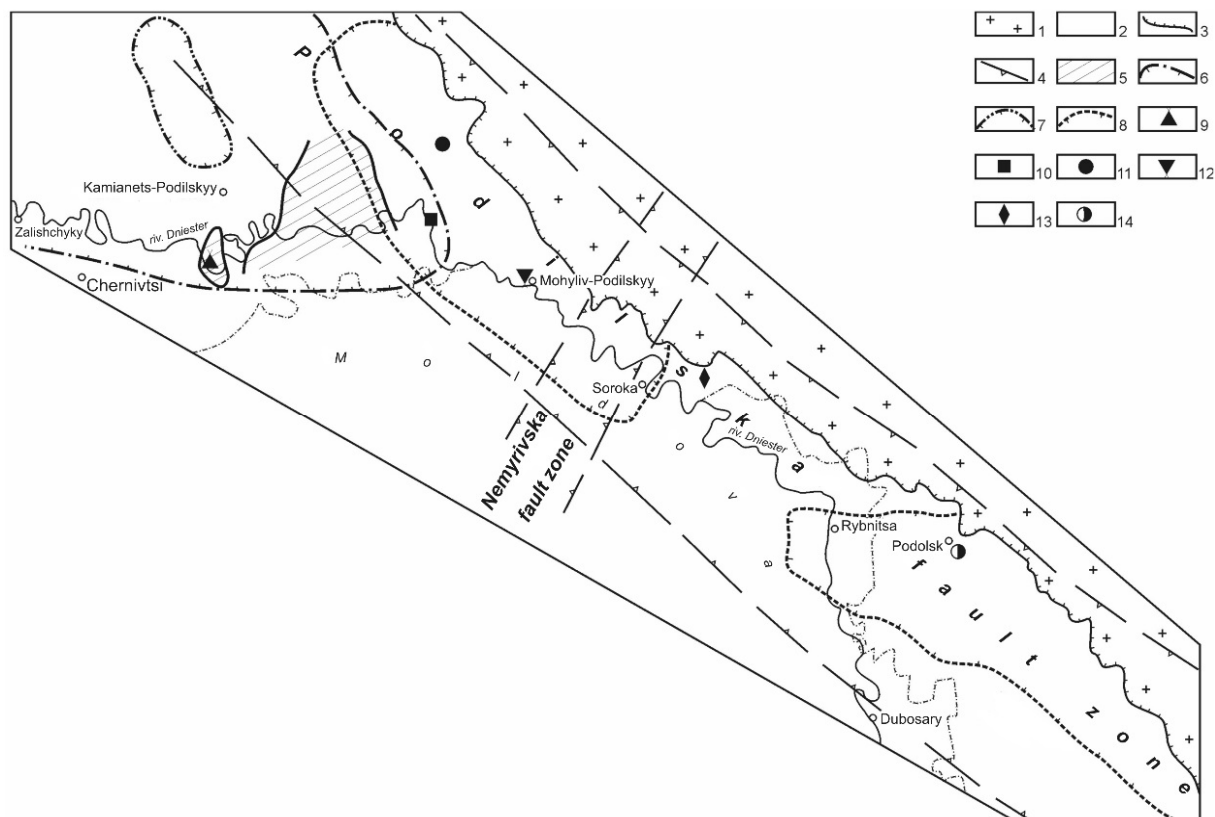


Fig. 1. The schematic map of minerals and ores distribution in the Dniester river basin mid-flow (using (*Derevska*, 2008)):

- 1 – crystalline rocks of the Ukrainian shield; 2 – sedimentary deposits of the platform cover; 3 – the platform cover boundary;
- 4 – edge faults of the Podilska and Nemyrivska fault zones; 5 – flint beds distribution in the Upper Cretaceous deposits;
- 6 – phosphorites distribution in the Vendian and Cenomanian deposits; 7 – area of lead, zinc and barite (fluorite) occurrences in the Cambrian, Ordovician and Silurian deposits; 8 – barite-fluorite-base metal ore formation occurrences in the rocks of the crystalline basement and Vendian deposits; 9 – Grinchutske flint deposit; 10 – Zhvanske phosphorite deposit; 11 – Bakhtynske fluorite deposit;
- 12 – maximum gold concentration in the Neogene-Quaternary alluvium of the Dniester river;
- 13 – the Velykokosnytskyy occurrence of bauxites; 14 – the Kotovskyy barite-base metal occurrence

Rocks of the Archean-Lower Proterozoic crystalline basement generally contain a Clarke amount of gold (75 % samples contain gold 3 mg/t and less). Detrital sediments of Riphean Soroksa suite are featured by increased gold content. The most stable content of gold show Riphean Kamianska suite basalts (up to 10 mg/t). Significant geochemical anomaly of gold is located between Rybnitsa and Kotovsk towns coinciding with the area of basalts extension. Here content of gold is up to 30 mg/t in all of the platform cover suites. Native gold of this plot shows low content of silver (3,5–3,8 %) and lead (0,05–0,15 %) (Derevska, 2008).

Native gold is found in all geological units, from Proterozoic to the recent alluvial deposits within the Dniester Peri-Cratonic Belt, so the necessity of further prospecting is evident.

The problems that are still unsolved. Despite long-term geological study of the Dniester river basin (deep geological mapping, searching for mercury, diamonds, thematic researches for gold etc.), we still have no clear evidences about gold-bearing potentiality of this area as well as origin of gold. The gold occurs both in the crystalline basement rocks and in the deposits of sedimentary cover, as well as in the floodplain terraces complexes and in the recent alluvium of the river Dniester and its inflows. Besides that, hydrothermal processes are widespread in the various range tectonic faults and on the contacts of different origin rocks. This derives from complex geological and tectonic structure of the region with multiple neotectonic movements.

Presentation of the main material. The territory of the Dniesterian depression has a complex geological and tectonic structure. It is distinguished by various stratigraphic formations, the presence of stratotypical sections and rare outcrops, and a wide range of metallic and non-metallic minerals.

The explored territory is located within the Podolian Upland, which is deeply dissected by the river valleys, ravines and gulches. The main water artery of the region is the Dniester river, which forms a canyon-shaped valley. Together with its inflows, this river interposes into the rocks

to a depth of 200 m. The inflow of the different age alluvial deposits can be explained by the complicated geological structure and a considerable length of the area.

The overall picture of exploration maturity of these territories is presented in the table of the prospective zones for the gold search (Table). The results of studies indicate the gold-bearing material distribution heterogeneity due to the different tectonic structure and the lithology of deposits.

It is worth pointing out that the main gold-bearing areas are confined to the territories of the Vendian terrigenous deposits and the Upper Pliocene terraces of the Dniester River extension. In addition to the basic data on promising areas, information is also provided on test methods and concentration of gold in samples. According to the gold spectral analysis of the bottom sediments of the Dniester basin rivers, 17 gold haloes were found (Nechaiev and Afanasieva, 1990).

According to the given data, it can be asserted that the prospect of the Dniester basin mid-flow in search of industrial occurrences of gold is also related to the geochemical and mineralogical features: 1) the presence of gold with different typomorphic features in the alluvium of the Dniester and its inflows, which points to the diverse sources with distinct genesis and age; 2) the presence of associated minerals (realgar, auripigment, cinnabar, galena, sphalerite), which are unstable in exogenous conditions and cannot be transported over long distances, which indicates points to the local sources of indigenous gold or its interjacent collectors; 3) the presence of geochemical anomalies of gold and its indicator elements both in the crystalline rocks of the basement and sedimentary cover.

The gold-bearing of the Pliocene-Quaternary deposits in the Dniester basin mid-flow is related to the Pliocene (VI-IX floodplain terraces) and the Quaternary (I-V floodplain terraces) terrace complexes of the Dniester river and the modern alluvium of the Dniester river and its inflows.

Table

The features of the sites explored for gold in 1968–2002
(compiled using (Bratslavskiy et al., 1979, 1983; Derevska, 1992; Dovhan et al., 2002; State geological, 2007; Velykanov et al., 1968); also Ishchenko et al. (2000); Kovalev (1990); Lavrov et al. (1972); Zhylytskyi and Zhylytskaia (1981))

No	Name of location	Location	Host rocks	Au content, g/t
1	Derlivskyy occurrence	The lower part of the Derlo river, Karpivka village	1. Alluvium of the river channel, Vendian terrigenous deposits 2. Argillites and siltstones of the Lomozivsky layers 3. Yampilskyy sandstone	0,1–0,2 to 1 0,175 0,005 0,01–0,07 0,01–0,02
2	Liadova river basin	Liadova and Derlo rivers basins	1. Alluvium of the river channel, Vendian terrigenous deposits 2. Conglomerates, multicolor breccia 3. Grushkynska suite deposits 4. Light gray feldspar-quartz sandstone of the Olchedayiv Beds	0,005–0,5 Up to 0,175 0,005–0,1 0,001–0,04
3	Nemiyska area	Lower flow of the river Nemiia, villages Nemiia and Ozaryntsi	Crystalline rocks, sedimentary deposits of the Vendian	0,01–0,05
4	Dereshivskyy occurrence	Upper flow of the river Zhvan, Dereshova village	Alluvium of river channel, Vendian terrigenous deposits	0,005–0,1
5	Naddnistrianskyy occurrence	Lower flow of the river Materka, near Naddnistrianske village	Terrigenous deposits of the Pliocene terraces, Vendian rocks, crystalline rocks	0,05–0,2
6	Karaietskyy occurrence	Lower flow of the river Karaiets, toward the South from Perekoryntsi village	Alluvium of river channel	0,01–0,02
7	Mohyliv-Podilskyy region	Middle flow of the Dniester river	1. In basalts 2. In chalcedony-like light gray pebble from the Cretaceous deluvium	0,005–0,007 0,3

The ancient Pliocene terraces of the Dniester are represented by the formations of the river bed (sandy lithotypes) and floodplain (clay lithotypes) facies and are distributed on the watersheds of Nichlava-Zbruch rivers (VI–VII terraces), in the interfluvium of Studenytsa-Zhvan and

Liadova rivers, Derlo river (VI–IX terraces) (Dovhan et al., 2002; State geological, 2007; Tomenyuk, 2012). In the bottom of the terrace deposits lie pebble-beds and boulders. Pebbles are represented mainly by sandstones, flint, limestone, quartz, jasper flint, and chalcedony. Below we present the

description of alluvial deposits of the Dniester terraces on the basis of data collected. Sands are from fine to coarse-grained, argillaceous, horizontally – and crossbedded, brownish-yellow, yellow-gray, sometimes contain layers and lenses of clay and pebbles in the size of 1–10 cm. The sands are overlapped by floodplain clays, which are aleuritic, dense, viscous, brownish-gray, red-brown, brown. The thickness of the Pliocene terraces is different: VI terrace – up to 10,0 m, VII terrace – up to 30 m. Alluvial deposits of the V terrace are represented by pebbles (well-rounded pebbles of sandstones, siltstones, limestones, and flint); inequigranular sands, horizontally- and crossbedded, gray, brownish-yellow, red-brown with pebbles, gravel, and, occasionally, clay lenses. The average thickness of deposits is 13 m.

Alluvial deposits of the IV floodplain terrace are represented by inequigranular sands, horizontally- and crossbedded, gray, yellowish-gray, with rare clay lenses and pebbles with sand aggregate (well-rounded pebbles of sandstones, limestones, and flints in the size of 5-10 cm) and sandy loams.

Alluvial deposits of the III floodplain terrace are represented by pebbles (well and slightly rounded pebbles of Silurian limestones and Cretaceous flints up to 5 cm in size); inequigranular sands, horizontally- and crossbedded, gray, heavily ferruginized, with the inclusion of fine pebbles, with clay lenses and sandy loams. The thickness of deposits is up to 15 m.

Alluvial deposits of the II floodplain terrace are represented by pebbles with grains of sandstones, siltstones, limestones, dolomites, sometimes flints, with layers and lenses of sand; inequigranular sands with gravel and pebbles; loams with layers and lenses of fine-grained quartz sand with pebbles. The thickness of deposits is up to 10 m.

Alluvial deposits of the I floodplain terrace are represented by pebbles (grains of limestones, dolomites, flints); fine to medium-grained sands, gray, sometimes ochred, with rare inclusions of pebbles and slightly rounded debris of limestones, dolomites and flints; loams yellow-brown, with a rare pebble and slightly rounded fragments of sandstones, limestones, flints, as well as sand and clay lenses. The thickness of sediments is up to 20 m.

Alluvial deposits of the Dniester and its inflows are represented by poorly sorted boulder-pebble and sand-clay slightly ferruginized deposits with humus. The thickness of deposits in the Dniester is up to 20 m.

The formation of the terraces of the Dniester river valley (according to A. Bogutsky, A. Yatsyshyn) occurs due to the periodic repetition of tectonic movements. They are subject to cyclic physical-geographical changes.

Analysis of pebbles and sandstones of terrace complexes allowed R.M. Dovhan to conclude that the sandstones of the ancient and young Dniester terraces are characterized by a set of chemical elements and have a different origin. Sandstones of young terraces are divided into three groups: brown, gray "strontium" and gray "lithium", among which the latter have an increased gold content; Vendian, Silurian, and Cenomanian sandstones differ from terrace sandstones and could not be a source of material for the terrace complex (except the youngest); the older terraces are, the more pebbles of metamorphic rocks they have (Dovhan et al., 2002).

The sizes of gold grains from the Dniester and its inflows, ranging from Zalishchiky to Stara Ushitsya, are 0,1–0,3 mm. In the left inflows of the Dniester, the size of the grains of gold is more variegated: in the alluvium of the rivers Seret and Nichlava it is up to 0,15 mm, when in the rivers Zbruch, Zhvanchik, Smotrych and within the Mohyliv-Podilsky site – more than 0,3 mm; gold in the size of more than 0,5 mm was found within the Melnytsya-Podilska and Mohyliv-

Podilsky sites, and the areas of crossing of the rivers Zbruch, Smotrych and the Dniester of Tovtrova ridge (Dovhan et al., 2002).

The color of the majority amount of gold grains is yellow with reddish, rarely greenish shades. According to M.S. Kovalchuk (Kovalchuk et al., 2001) the color of gold from the alluvium of the Dniester and its inflows firstly depends on the chemical composition. High karat gold has a golden-yellow color. Depending on the content of silver, the color changes from greenish-yellow to dark green-yellow, and from the content of copper – from greenish-yellow to reddish-yellow. In the segment from Zalishchyky to Stara Ushitsya, gold in the alluvium of the Dniester is mostly dark yellow, red-yellow. Also, there is gold with greenish shades, which has a significant distribution within the Melnytsya-Podolska site. In the left inflows of the Dniester river in the area from Seret to Smotrych, the color changes from red to green-yellow, while in the Mohyliv-Podilsky site globular and lumpy gold grains enriched with copper have a reddish-yellow color, while lamellar gold has a greenish tinge (Dovhan et al., 2002).

Analysis of the materials regarding the lithologic and mineralogical composition of the floodplain terraces, typomorphic features of native gold allows us to assert that paleogeographic conditions and source areas of clastic material have been changed during development of the Dniester river valley at various tectonic-geomorphological stages.

It is noteworthy that the main gold-bearing areas are confined to the territories of the Vendian terrigenous deposits extension and the Upper Pliocene terraces of the Dniester River.

Recent years, the use of natural building materials has become more intense. So-called "Carpathian pebble" of two oldest terraced levels – the VI and the VII terraces of the Dniester river valley – is actively mined (legally and illegally). This led to the formation of deep and branched quarries near Novosilky, Goligrady, Kulakivtsi, Synkiv, Isakivtsi, Tsvikivtsi villages. Mining works opened new outcrops, the study of which may serve as a basis for the continuation of the prospecting and evaluation works on placer gold.

To study the gold content, lithologic, mineralogical and geochemical features of the terrace deposits, we chose the strata in the Dniester middle flow, where the sixth terrace outcrop. The corresponding territory is clearly traced by an intermittent band from the village Novosilky (high left bank of the Seret river) to the village Tsvikivtsi (the left bank of the Dniester river). There are shallow excavations (up to 3 m) near the village Goligrady on the left steep high bank of the Seret River, in which the alluvial deposits of the sixth terrace outcrop. They are represented by the interlayers of pebble material and light sand with red-yellow to dark brown lenses. There are sandy deposits with well-rounded inequigranular, mostly light-gray "Carpathian" pebbles (often with traces of "desert tan") at the base of the excavation.

Near village Kulakivtsi (left side of the road to the village Synkiv), gravel-pebble construction material excavations reveal the outcrop of the sixth terrace of the Dniester (Fig. 2). The geological section is represented by a thick layer of pebble material with lenses or layers of light-gray sand. There are white and red spots at the top of the profile. Alluvial deposits are covered with a layer of gray-yellow sand with rare inclusions of pebbles and gravel (up to 25 cm), and higher in the profile river deposits are covered with loams (up to 15 cm). Above is a 10-centimeter layer of podzolized soil. The quarry with steep walls covers an area of about 3 hectares, has a depth of up to 3 m, is partially covered with garbage, overgrown with shrubs and weeds. Currently, the object is abandoned and not recultivated. Samples weighing about 80 kg were collected here for granulometric, heavy minerals concentrate and geochemical analyses.



Fig. 2. Outcrop of the sixth terrace of the Dniester near village Kulakivtsi

Alluvial deposits from the Dniester river were also studied near the village Isakivtsi between two inflows of the Dniester river – Zbruch and Zhvanchyk. Here, due to the extraction of gravel, a geological section of about 20 m height is revealed. In the base of this section there are dense conglomerates, which are cemented with clay material and contain fauna fossils. The well and slightly rounded fragments in the size from 2–5 to 10 cm are represented by flints, jasperoids, argillites, sandstones, coal shales, etc., as well as the remnants of Sarmatian shells. Above is the layer of coarse-grained, light, striped sand with layers of sand formations of brown color (IV–V terraces of the Dniester). Above, the strata of so-called "Carpathian" pebbles is determined, the deposits of which belong to the sixth terrace of the Dniester River. In the upper part of the profile, sedimentary deposits are brownish-red due to high iron content. Samples of about 60 kg total weight were taken for further research.

Analytical study of the sedimentary rocks was carried out in the laboratories of Kyiv and Kryvyi Rig.

Lithologic-mineralogic sampling with alluvium enrichment was held on in the laboratory of the Center for problems of marine geology, geocology and sedimentary ore formation of the NAS of Ukraine, Kryvyi Rig (analyst V. Ivanchenko). Polymineral sedimentary deposits of the Dniester mid-flow VI, V and IV floodplain terraces have high content of heavy minerals, such as almandine, ilmenite, zircon, monazite, iron oxides etc. So, this deposit was enriched with the method of multistage dry separation with subsequent withdrawal of several concentrates. These contain gold that appears as thin and dispersed gold (about 90 % of its total amount). Minor amount of mineralogical-geochemical studies was based on mineral composition of gravel-pebble, sandy and clay-carbonaceous material from Pliocene terraces and their basement. Analysis of clay-carbonaceous material of the Lower Sarmatian deposits basal level shows presence in the fine fraction of garnet, zircon, monazite, native gold and copper, apatite, pyrite, iron globules (Fig. 3).

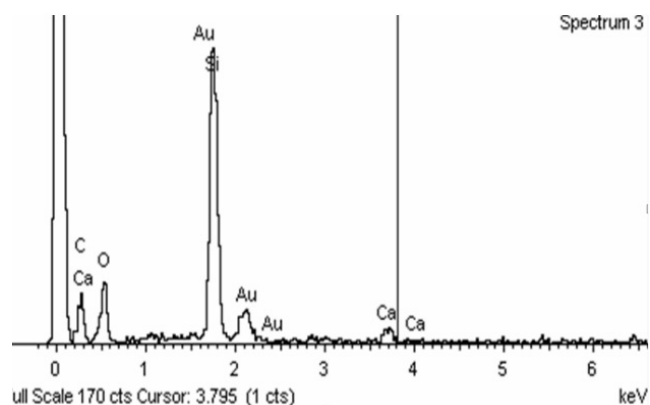
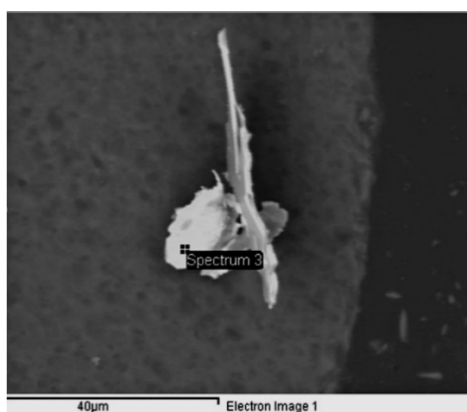


Fig. 3. Thin gold from the Lower Sarmatian deposits, silt. Basal level of the VI terrace, Dniester mid flow

Perspective directions of research. Our field and analytical studies, analysis of geological reports and scientific publications made it possible to distinguish the main ways of further geological work, mainly within the VI–IV terraces of the middle Dniester:

1. Study of alluvial formations of the Dniester river basin and its terrace complex will clarify their material composition,

find out the extent of gold-bearing, and define a change in the disintegration areas in time.

2. Geological-mineragenetic mapping of the Dniester left inflows of using the heavy minerals concentrates analysis.

3. Lithochemical and geochemical searches of gold mineralization after anomalies and elements dispersion halos, as well as the definition of general principles of gold

distribution for distinguishing prospective sites within the research territory.

4. Hydrochemical searches for hydrochemical anomalies of native and other metals in surface waters.

5. Study of typomorphic features of native gold using modern analytics for defining its ore-formational affiliation and mineral type.

The beginning of this research was started by the authors of this paper.

Outlined directions of further research allow focussing on specific search tasks.

Conclusions. Completed own field and analytical studies, analysis of geological reports and scientific publications in the context of studies of alluvium gold-bearing and terrace complexes within the Dniester river basin allowed to make the following conclusions.

1. Mid-flow Dniester area is the most comprehensive studied for gold bearing within whole Dniester river basin. This area is a potentially gold-bearing region that yet requires the detailed search work for the 6th and 7th terraces, and the buried ancient channel of the Dniester, as the golden occurrences are associated with the ancient alluvial river deposits (for example, Alaska deposits, Canada, etc.).

2. It is determined that the buried gold in the Dniester basin is distributed randomly and unevenly, thus, it is not possible to allocate prospective areas and forecast sites rich of gold ore. However, new data obtained, new methodological approaches and searching criteria will perform more efficient assessment of prospects for gold and prospecting works.

3. Prospects of the territory for detection of ore occurrences and deposits of gold are associated with: the geotectonic position of the territory and the history of its geological and tectonic development, paleogeographic conditions for the formation of gold-bearing and potentially gold-bearing sedimentary deposits, lithological rocks composition, conducive for concentration of gold (syn-sedimentary and hydrogene), as well as with the processes of eometamorphism and hydrothermal activity (due to the renewal of tectonic fault zones).

4. The main areas of further exploration and evaluation works are: a detailed study of the alluvial formations of the Dniester and its terrace complex (mainly VI–IV terraces), which will clarify their material composition, define the extent of gold-bearing and a change in the denudation areas in time; lithogeochemical searches after primary and secondary dispersion haloes to find out the general principles of the distribution of gold content; selection of perspective sites within the territory of the research; the study of typomorphic features of native gold from alluvial and terrace deposits using modern analytics for defining its ore-formational affiliation and mineral type.

Список використаних джерел

- Архангельская, В.В. (1983). Геологическое строение и свинцово-цинковое оруденение Подольско-Приднестровского рудного района. *Изв. АН СССР, сер. геологическая*, 6, 35–38.
- Брацлавский, П.Ф. и др. (1983). Отчет о результатах среднемасштабного глубинного геологического картирования юго-западного склона Украинского щита м-ба 1 : 200 000 в пределах листов М-35-XXVII, -XXVIII, -XXXIV, -XXXV (Подольская тектоническая зона). Фурсы.
- Великанов, В.А. и др. (1968). Отчет Приднестровской ГСП Побужской ГЭ о работах по геологической съемке м-ба 1 : 50 000 и структурно-профильному бурению, проведенных в Среднем Приднестровье в 1964–1968 гг. (Территория листов М-35-115-А, -Б, -Г, -116-В, 128-А, -Б, -В (сев. половина)).
- Державна геологічна карта України масштабу 1 : 200 000. Волино-Подільська серія. Аркуші: М-35-XXVIII (Бар), М-35-XXXIV (Могилів-Подільський) (2007). Пояснювальна записка. К. : Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. Державна геологічна служба. УкДГП.

Деревская, Е.И. (1992). Минеральный состав и условия образования барит-флюорит-полиметаллической формации Подольской зоны разломов. *Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.11*. Киев.

Деревська, К.І. (2008). Палеогеотермальний режим літогенезу та гіпогенного рудоутворення в межах Балтійсько-Дністровської перикратонної зони прогинів у рифей-фанерозої. *Автореф. дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.21*. Київ.

Довгань, Р.М., Павлюк, В.М. та ін. (2002). Складання прогнозно-мінералогічної карти масштабу 1 : 200 000 на золото Середнього Придністров'я. *Звіт Правобережної геологічної експедиції за 1992–2002 рр.* Київ.

Коваленко, Д.М., Латыш, І.К. (1973). О золотоносности фосфоритно-носных отложений Украины. *Геол. журн.*, 6, 145.

Ковальчук, М.С., Квасниця, В.М., Довгань, Р.М., Павлюк, В.М., Деревська, К.І. (2001). Морфогенетична класифікація розсипного золота з алювіальних відкладів р. Дністер. *Геол. журн.*, 3, 30–40.

Мельничук, В.Г. (2012). Золото як перспективний ресурс у надрах Волинського регіону. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*, 9, 23–30.

Нечаев, С.В., Афанасьева, І.М. (1990). Золотоносность и рудная минерализация краевых зон УЩ и его обрамления. *Отчет*. Киев.

Павлюк, В.М., Довгань, Р.М., Павлюк, О.В. (2008). Золотоносність Могилів-Подільської площі (Середнє Придністров'я). *Записки Українського мінералогічного товариства*, 5, 84–95.

Томенюк, О. (2012). Геоморфологічні дослідження професора Юрія Полянського. *Матеріали і дослідження з археології Прикарпаття і Волині*, 16, 504–518.

Шумлянський, В.А., Деревская, Е.И., Квасниця, В.Н. (1995). Золотоносность рифей-вендских образований Среднего Приднестровья. В кн.: Золотоносность осадочных та метаосадочных комплексов Украины. Київ. *Наукове видання ІГН НАНУ*, 34–37.

Яцун, В.К. (1997). Оцінка ступеню золотоносності піщано-глинистих відкладів кар'єрів будівельного каменю і піщано-гравійних сумішей Карпат та Придністров'я. *Звіт*. Київ.

References

- Arkhangel'skaya, V.V. (1983). Geologicheskoe stroenie i svintsovo-cinkovoe orudnenie Podolsko-Pridentrovskogo rudnogo rayona. *Izveshcheniya AN SSSR*, 6, 35-38. [In Russian]
- Bratslavskiy, P.F. et al. (1983). Otchet o rezultatah srednemasshtabnogo glubinnogo geologicheskogo kartirovaniya yugo-zapadnogo sklona Ukrainского schita m-ba 1:200 000 v predelakh listov M-35- XXVII, – XXVIII, – XXIV, – XXV (Podolskaya tektonicheskaya zona). Fursy. [In Russian]
- Derevska, K.I. (1992). Mineral composition and condition of formation of barite-fluorite-polimetal ore formation. *Extended abstract of Candidat's thesis (Geol. Sci.: 04.00.11)*. Kyiv, Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, NAS of Ukraine. [In Russian]
- Derevska, K.I. (2008). Palaeothermal conditions of Riphean to Phanerozoic lithogenesis and ore formation within the Baltic-Dniester peri-cratonic belt. *Extended abstract of Doctor's thesis (Geol. Sci. 04.00.21)*. Kyiv, Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine. [In Ukrainian]
- Dovhan, R.M. et al. (2002). Skladannia prohnzno-mineralenichnoi karty masshtabu 1 : 200 000 na zoloto Serednoho Prydnistrov'ya. *Zvit Pravoberezhnoi heolohichnoi ekspedytsii za 1992-2002*. Kyiv. [In Ukrainian]
- Iatsun, V.K. (1997). Otsinka stupenyu zolotonosnosti pishchano-hlynystykh vidkladiv karyeriv budivelnogo kamenyu i pishchano-hravyinykh sumishey Karpat ta Prydnistrov'ya. *Report*. Kyiv. [In Ukrainian]
- Kovalchuk, M.S., Kvasnytsia, V.M., Dovhan, R.M., Pavliuk, V.M., Der-evska, K.I. (2001). Morfohenetychna klasyfikatsiia rozsyphno zolota z aliuvialnykh vidkladiv r. Dniester. *Geological Journal*, 3, 30-40. [In Ukrainian]
- Kovalenko, D.M., Latsysh, I.K. (1973). O zolotonosnosti fosforitonosnykh otlozheniy. *Geological Journal*, 6, 145. [In Russian]
- Melnychuk, V.G. (2012). Zoloto yak perspektyvnyi resurs u nadraakh Volynskoho rehionu. *Nature of Western Polesie and surrounding areas*, 9, 23-30. [In Ukrainian]
- Nechaiev, S.V., Afanasieva, I.M. (1990). Zolotonosnost i rudnaya mineral-izatsiya kraevykh zon USch i ego obramleniya. *Report*. Kyiv. [In Russian]
- Pavliuk, V.M., Dovhan, R.M., Pavliuk, O.V. (2008). Zolotonosnist Mohyliv-Podilskoi ploshchi (Serednie Prydnistrov'ya). *Notes of the Ukrainian Mineralogical Society*, 5, 84-95. [In Ukrainian]
- Shumlianskii, V.A., Derevska, E.I., Kvasnytsia, V.N. (1995). Zolotonosnost rifei-vendskikh obrazovaniy Srednego Prydnestrov'ya. In: Gold of the sedimentary deposits of Ukraine. Kyiv. *Nauk. Vydannia IGN NANU – Scientific Edition of the IGN NAS of Ukraine*, 34-37. [In Russian]
- State geological map of Ukraine, scale 1 : 200 000. Volyn-Podilsky series. Sheets: M-35-XXVIII (Bar), M-35-XXXIV (Mohyliv-Podilsky). (2007). Explanatory note. Kyiv: Ministry of Environmental Protection of Ukraine. State Geological Service. [In Ukrainian]
- Tomenyuk, O. (2012). Neomorfologichni doslidzhennya profesora Yuriya Polyanskoho. *Materials and Research on Archeology of the Precarpathians and Volhynia*, 16, 504-518. [In Ukrainian]
- Velykanov, V.A. et al. (1968). Otchet Prydnestrovskoy GSP Pobuzhskoy GE o rabotah po geologicheskoy s'emke masshtaba 1:50 000 i strukturno-profilnomu burennyu, provedennykh v Srednem Prydnestrove v 1964-1968. (Territorya listov M-35-115-A, -B, -G, -116-B, 128-A, -B, -B (sev. polovina). Kyiv. [In Russian]

К. Деревська¹, д-р геол. наук, проф., E-mail: zimkakaty@gmail.com;
О. Александров², канд. геол. наук, старш. науч. співроб., E-mail: alex2ce@gmail.com;
В. Береговенко³, асп., E-mail: jkglok@gmail.com
М. Ковальчук², д-р геол. наук, проф., E-mail: kms1964@ukr.net;
К. Руденко⁴, канд. геол. наук, старш. науч. співроб.,
E-mail: rudenkokseniav@gmail.com;
Г. Сільченко⁵, директор, E-mail: sial202@gmail.com;
Р. Спиця⁶, канд. геол. наук, старш. науч. співроб.,
E-mail: sprutsyagoman@ukr.net;

¹Національний університет "Києво-Могилянська академія",
вул. Сковороди, 2, Київ, 04655, Україна;

²Інститут геологічних наук НАН України,
вул. О. Гончара, 55, б, Київ, 01601, Україна;

³ДНУ "Центр проблем морської геології, геоecології та осадового рудоутворення НАН України",
вул. О. Гончара, 55, б, Київ, 01601, Україна;

⁴Національний науково-природничий музей НАН України,
вул. Б. Хмельницького, 15, Київ, 01030, Україна;

⁵ПП Геологічна компанія "Геомандри",
вул. Ентузіастів, 2, кв. 115, Київ, 02154, Україна;

⁶Інститут географії НАН України,
вул. Володимирська, 44, Київ, 01030, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ВІДКЛАДІВ НАДЗАПЛАВНИХ ТЕРАС ДНІСТРА НА ЗОЛОТУ МІНЕРАЛІЗАЦІЮ

У межах басейну річки Дністер найбільш вивченою щодо золотоносності нині є територія середньої течії. Незважаючи на тривале геологічне вивчення, однозначно вирішити питання золотоносності території та корінних джерел золота досі не вдалося. Перспективність Середнього Придністров'я на пошуки родовищ золота встановлюється за геологічними, геохімічними і мінералогічними ознаками. У межах території досліджень золото віднайдене в кристалічних породах фундаменту та породах осадового чохла. Аналіз матеріалів з літолого-мінералогічного складу надзаплавних терас і типоморфних особливостей самородного золота дозволяє стверджувати, що протягом розвитку річкової долини Дністра на різних тектонічних етапах її розвитку змінювалися палеогеографічні обстановки та джерела зносу уламкового матеріалу. Золотоносність пліоцен-четвертинних відкладів Середнього Придністров'я пов'язана з пліоценовим (VI–IX надзаплавні тераси) та четвертинним (I–V надзаплавні тераси) терасовим комплексом річки Дністер, сучасним алювієм Дністра та його притоках. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що в межах Середнього Придністров'я самородне золото виявлено в усіх геологічних утвореннях, починаючи з протерозою і закінчуючи сучасними алювіальними відкладами, що вказує на необхідність подальших пошукових робіт для визначення корінних джерел золота.

Здійснені нами польові, аналітичні дослідження і аналіз опублікованих даних дозволили виокремити основні напрями подальших пошуково-оцінювальних робіт. Серед них головними є детальне дослідження алювіальних утворень Дністра та його терасового комплексу (головним чином VI–VII терас), що дозволить уточнити їхній речовинний склад, з'ясувати масштаби золотоносності, установити зміну областей денудації в часі; літогеохімічні пошуки за первинними і вторинними ореолами розсіювання для з'ясування загальних принципів поширення золота; виокремлення перспективних ділянок у межах території дослідження; дослідження типоморфних особливостей самородного золота з алювіальних і терасових відкладів з використанням сучасної аналітики для з'ясування його рудно-формаційної належності та мінерального типу.

Ключові слова: золото, басейн Дністра, надзаплавні тераси.

Е. Деревская¹, д-р геол. наук, проф., E-mail: zimkakaty@gmail.com;
А. Александров², канд. геол. наук, ст. науч. сотр., E-mail: alex2ce@gmail.com;
В. Береговенко³, асп., E-mail: jkglok@gmail.com;
М. Ковальчук², д-р геол. наук, проф., E-mail: kms1964@ukr.net;
К. Руденко⁴, канд. геол. наук, ст. науч. сотр., E-mail: rudenkokseniav@gmail.com;
Г. Сильченко⁵, директор, E-mail: sial202@gmail.com;
Р. Спица⁶, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.,
E-mail: sprutsyagoman@ukr.net;

¹Национальный университет "Киево-Могилянская академия",
ул. Сковороды, 2, 04655, Киев, Украина;

²Институт геологических наук НАН Украины,
ул. О. Гончара, 55, б, 01601, Киев, Украина;

³ГНУ "Центр проблем морской геологии, геоecологии и осадочного рудообразования НАН Украины",
ул. О. Гончара, 55, б, 01601, Киев, Украина;

⁴Национальный научно-природоведческий музей НАН Украины,
ул. Б. Хмельницкого, 15, 01030, Киев, Украина;

⁵ПП Геологическая компания "Геомандры",
ул. Энтузиастов, 2, кв. 115, 02154, Киев, Украина;

⁶Институт географии НАН Украины,
ул. Владимирская, 44, 01030, Киев, Украина

ПЕРСПЕКТИВИ ОТЛОЖЕНИЙ НАДПОЙМЕННЫХ ТЕРРАС ДНЕСТРА НА ЗОЛОТУЮ МИНЕРАЛИЗАЦИЮ

В пределах бассейна реки Днестр наиболее изученной в отношении золотоносности сейчас является территория среднего течения. Несмотря на длительное геологическое изучение, однозначно решить вопрос золотоносности территории и коренных источников золота пока не удалось. Перспективность Среднего Приднестровья на поиски месторождений золота устанавливается по геологическим, геохимическим и минералогическим признакам. В пределах территории исследований золото найдено в кристаллических породах фундамента и породах осадочного чехла.

Анализ материалов по литолого-минералогическому составу надпойменных террас и типоморфных особенностей самородного золота позволяет утверждать, что в течение развития речной долины Днестра на различных тектонических этапах ее развития менялись палеогеографические обстановки и источники сноса обломочного материала. Золотоносность плиоцен-четвертинных отложений Среднего Приднестровья связана с плиоценовым (VI–IX надпойменные террасы) и четвертинным (I–V надпойменные террасы) террасовым комплексом реки Днестр, современным аллювием реки и ее притоков. Проведенные исследования позволяют утверждать, что в пределах Среднего Приднестровья самородное золото обнаружено во всех геологических образованиях, начиная с протерозоя и заканчивая современными аллювиальными отложениями, что указывает на необходимость дальнейших поисковых работ для определения коренных источников золота.

Осуществленные нами полевые, аналитические исследования и анализ опубликованных данных позволили выделить основные направления дальнейших поисково-оценочных работ. Среди них главными являются детальное исследование аллювиальных образований Днестра и его террасового комплекса (главным образом VI–VII террас), что позволит уточнить их вещественный состав, выявить масштабы золотоносности, установить смену областей денудации во времени; литогеохимические поиски по первичным и вторичным ореолам рассеяния для выяснения общих принципов распространения золота; выделение перспективных участков в пределах территории исследования; исследование типоморфных особенностей самородного золота из аллювиальных и террасовых отложений с использованием современной аналитики для выяснения его рудно-формационной принадлежности и минерального типа.

Ключевые слова: золото, бассейн Днестра, надпойменные террасы.

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3:631.16

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.11>

А. Рокочинський, д-р техн. наук, проф.,

E-mail: a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua;

В. Турченко, д-р техн. наук, доц.,

E-mail: fwg@ukr.net;

П. Волк, канд. техн. наук, доц.,

E-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua;

Н. Приходько, канд. техн. наук, старш. викл.

E-mail: n.v.prihodko@nuwm.edu.ua;

Н. Фроленкова, канд. екон. наук, доц.,

E-mail: n.a.frolenkova@nuwm.edu.ua;

Національний університет водного господарства та природокористування,

вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33000, Україна;

О. Шевченко, д-р геол. наук, проф.,

E-mail: shevch62@gmail.com;

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

**ФОРМУВАННЯ ГІДРОГЕОЛОГО-МЕЛІОРАТИВНОЇ ОБСТАНОВКИ
НА РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПРИДУНАВ'Я
ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
З УРАХУВАННЯМ ПОГОДНО-КЛІМАТИЧНИХ РИЗИКІВ***(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)*

Проведено аналіз основних причин незадовільного гідрогеолого-меліоративного стану рисових зрошувальних систем Придніав'я та розглянуто шляхи його поліпшення через підвищення дренажності зрошуваних земель рисових систем. На засолених землях рисових систем дельти Дунаю дренажно-скидна мережа є головним засобом активного і направлено впливу на водно-сольовий режим меліорованої території, формування режиму рівня ґрунтових вод як у вегетаційний, так і в міжполивний період для рису та супутніх культур, і є по суті визначальним фактором продуктивності сільськогосподарських угідь. Аналіз ефективності роботи дренажу на рисових системах дельти Дунаю показав, що дренаж, побудований відповідно до діючих на час будівництва норм проектування, не забезпечує рівномірної дренажності за площею та ґрунтовим профілем рисових полів, що є однією з головних причин їхнього незадовільного гідрогеолого-меліоративного стану, зниження врожайності рису і супутніх культур. Шляхом проведення оптимізаційних розрахунків за показником наведених витрат, за умови забезпечення при цьому оптимальної швидкості вертикальної фільтрації на рівні 6...8 мм/добу для рисових систем Придніав'я установлена оптимальна відстань між дренами – 100 м. Для існуючих рисових систем з дренажно-скидною мережею карт-чеків у вигляді відкритих карткових дренажів з міждренажними відстанями 250...500 м її конструктивне вдосконалення можливе шляхом дооснащення поодинокими закритими дренами-колекторами, які доцільно влаштовувати вздовж карт-чеків з дотриманням розрахункової відстані. Для зменшення величини швидкості вертикальної фільтрації в придренних зонах, де вона досягає 25 мм/добу, доцільно практикувати створення підпорів рівнів води в дренажно-скидній мережі. Створення підпорів рівнів води в дренажних каналах зменшує швидкість фільтрації в придренних зонах карт-чеків практично на порядок – до 4...5 мм/добу. Розроблені заходи та відповідна реконструкція рисових систем дадуть змогу забезпечити підтримання задовільного гідрогеологічного і гідрогеологічного режимів, забезпечити рівномірне розселення ґрунтів по всій площі при вирощуванні затоплюваного рису, створити сприятливі умови для протікання окисно-відновних процесів, підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану системи загалом.

Ключові слова: гідрогеолого-меліоративний стан, водно-сольовий режим, рисова зрошувальна система, ґрунтові води, швидкість фільтрації, дренажно-скидна мережа, оптимізація.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Рисові зрошувальні системи (РЗС) істотно відрізняються від класичних меліоративних об'єктів зони зрошення складними ґрунтовими, геологічними та гідрогеологічними умовами відведених під їхнє обладнання територій та наявністю в сівозміні провідної культури затоплюваного рису. Ці умови пов'язані з особливостями технології водорегулювання при вирощуванні затоплюваного рису, яка полягає у створенні та підтриманні на рисових полях необхідного промивного водного режиму як обов'язкової умови їхнього використання як угідь сільськогосподарського призначення (Якуба, 2007). Суть промивного водного режиму полягає тут у зниженні сезонної акумуляції солей у верхніх горизонтах і вимиванні їх низхідними токами води в нижні горизонти і в дренажну мережу. Забезпечення ефективного режиму дії зрошувально-дренажної системи та відповідної промивності рисового поля як у період створення і підтримання шару води на ньому, так і в період його осушення, є необхідною умовою підвищення продуктивності рисосіяння й поліпшення еколого-меліоративного стану в межах системи та на прилеглий території.

Водно-сольовий режим у зоні аерації та еколого-меліоративний стан РЗС визначається цілою низкою чинників, серед яких є природні (кліматичні фактори) та технологічні (зрошувальна норма; об'єм води, що скидається; конструкція та параметри зрошувальної й дренажно-скидної мережі тощо). Рисові системи мають низку особливостей, що відрізняють їх від класичних меліоративних об'єктів зони зрошення. Ці особливості мають не лише технічний характер, а й зумовлені складними геологічними та гідрогеологічними умовами відведених під їхнє оснащення територій та наявністю в сівозміні провідної культури затоплюваного рису. Специфіка даної культури полягає в особливостях технології вирощування, а саме в потребі підтримання шару води на полі протягом вегетаційного періоду. Одним із найголовніших елементів РЗС є дренажно-скидна мережа, яка визначає інтенсивність і направленість фільтраційних процесів, що мають місце при тривалому перезволоженні ґрунтів у різні періоди вегетації рису та вирощуванні інших супутніх сільськогосподарських культур. На засолених землях рисових систем дельти Дунаю дренажно-скидна мережа є головним засобом

активного і направлено впливу на водно-сольовий режим меліорованої території, на режим рівня ґрунтових вод (РГВ) як у вегетаційний, так і в міжполивний період для рису та супутніх культур, і є по суті визначальним фактором продуктивності сільськогосподарських угідь.

Аналіз ефективності роботи дренажу на рисових системах дельти Дунаю (Якуба, 2007; Гончаров, 1969; Кропивко, 1987; Мендусь, 2007) показав, що дренаж, побудований ще в 60-ті рр. минулого століття відповідно до діючих на час будівництва норм проектування, не забезпечує достатню дренажність рисових полів, що є однією з головних причин їхнього незадовільного еколого-меліоративного стану і зниження врожайності рису і супутніх культур. Рисові зрошувальні системи в Україні, у тому числі в дельті Дунаю, були побудовані за відомою схемою поливних карт Краснодарського типу (ККТ) і карт-чеків широким фронтом затоплення та скиду води (КЧШФ) з однобічним і двобічним командуванням здебільшого відкритих зрошувальних і дренажно-скидних каналів, відстань між якими залежно від ґрунтово-гідрогеологічних умов становила 200...500 м при глибині карстових дрен 1,5...1,7 м.

У процесі тривалої експлуатації дренажно-скидна мережа під дією численних факторів значно деформувалась (Гончаров, 1969; Кропивко, 1987; Сташук та ін., 2014, 2016). Такі канали перестали якісно впливати на водно-сольовий режим ґрунтів при вирощуванні рису, а особливо в періоди вирощування супутніх культур, коли потрібно забезпечити критичну глибину РГВ, яка для умов рисових систем дельти Дунаю становить 1,3...1,5 м. Крім того, посилення вимог щодо необхідності збереження якості води змушує орієнтуватися лише на замкнені системи із зрошувальними та дренажними каналами замість традиційних каналів подвійного призначення (Giveson Zulu et al., 1996).

Неспроможність дренажної мережі підтримувати сприятливий водний режим при забезпеченні необхідної норми осушення і, відповідно, достатньої аерації кореневого шару ґрунту в міжполивний період і пов'язаної з нею інтенсивністю і направленістю окисно-відновних процесів у ґрунтах, їхнє промивання під впливом довготривалого поливу затопленням рису є головною причиною виникнення несприятливих ґрунтових процесів на РЗС (оглеєння, вторинне засолення та заболочування тощо), зниження їхньої родючості та відповідно врожайності рису і супутніх культур.

Мета досліджень полягає у встановленні причин погіршення водного режиму та гідрогеолого-меліоративного стану РЗС, розробленні комплексних рішень з його поліпшення, що базуються на принципах системної оптимізації параметрів дії дренажу, удосконаленні конструкції та методів його розрахунку.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводились протягом 2003–2016 рр. у межах комплексної програми щодо підвищення загальної ефективності функціонування Придунайських РЗС за єдиною методикою, що включала в себе: використання спільної бази даних багаторічних спостережень по об'єкту; обґрунтування відповідно до завдання комплексу критеріїв ефективності функціонування діючих РЗС; використання методу водного та сольового балансу як загальноприйнятого інструменту оцінювання та прогнозування гідрогеологічного режиму та еколого-меліоративного стану РЗС.

Викладення основного матеріалу. Досвід експлуатації Придунайських РЗС показав, що їх гідрологічний та гідрогеологічний режими й відповідний еколого-меліоративний стан визначаються надійною роботою всіх елементів рисової системи і, у першу чергу, дренажно-скидної мережі. Покращення водного режиму на основі

оптимізації швидкості фільтрації при створенні та підтриманні промивного режиму, удосконалення конструкції й параметрів дренажу забезпечать задовільний еколого-меліоративний стан РЗС.

Багаторічними дослідженнями визначено, що дія дренажу на засолені землях РЗС має відповідати таким основним вимогам:

- забезпечити протягом 2–3 років розсолоння верхнього 1...1,5 м шару ґрунту для створення сприятливих умов вирощування рису і супутніх культур;
- забезпечувати після скиду води із чеків необхідну норму осушення не менше критичної глибини (1,5...1,8 м) на початок нового поливного сезону;
- виключати можливість вторинного засолення ґрунтів на полях, зайнятих супутніми культурами;
- створювати та підтримувати на рисовому полі оптимальні швидкості фільтрації для винесення солей з активного шару ґрунту.

Ефективна робота дренажно-скидної мережі на рисових системах перш за все залежить від правильного вибору його параметрів, тобто відстані між дренами та глибини їхнього закладання. Значення цих параметрів мають бути розраховані на попередження вторинного засолення та створення оптимальних умов для вирощування супутніх сільськогосподарських культур.

Відстань між дренами визначається нормою осушення, яку бажано утримувати нижче критичної глибини за ознакою випаровування з РГВ і вторинного засолення, а також фільтраційними характеристиками ґрунтів. Ступінь первинного засолення залежить від кліматичних, гідрогеологічних умов і геологічної історії району. Згідно з гідрогеологічним районуванням (Леженда до гідрогеологічної карти..., 2007) територія локального розміщення Придунайських РЗС належить до Придунайського та частково Татарбунарського районів Переддобрудзького артезіанського басейну пластових і блоково-пластових напірних вод. В основі першого осадового поверху лежать відкладення сарматського і меоценового ярусів міоцену та понтичного ярусу пліоцену. Відкладення понтичного ярусу перекриваються верхньопліоценовими і четвертинними утвореннями. На півдні – це комплекс алювіально-дельтово-морських відкладень, а на півночі – комплекс верхньопліоценових терас, в які врізана верхньочетвертинна тераса. Зверху елювій терас перекривається середньо-верхньочетвертинними відкладеннями (рис. 1).

Підземні води Переддобрудзького басейну перебувають в умовах зони утрудненого водообміну. У гирлі р. Дунай поширені відклади нерозчленованого заплавно-терасового комплексу, до якого приурочений потужний пліоцен-верхньонеоплейстоценовий ($aN^{2-2}_{P_{III}}$) водоносний горизонт (комплекс), для якого водовмісними породами є різнозерністі піски, гравій, галька, алеврити. У верхньому неоплейстоцені наявні слабководоні горизонти в елювіальних та еолово-делювіальних лесоподібних відкладах вододільного плато (e, vdP_{III}). Водомісткими породами, що мають потужність 7–12 м, є легкі, середні та важкі суглинки, а також супіски та лінзи глинистих пілуватих пісків, які залягають на еоплейстоцен-неоплейстоценових глинах. Лесові відклади характеризуються слабкою водонесністю, водопроникністю та водовіддачею, коефіцієнт фільтрації не перевищує 1 м/добу, часто – 0,2–0,5 м/добу. Часто водонесні горизонти мають спорадичний, лінзоподібний характер. На надзаплавних терасах р. Дунай поширений водоносний горизонт в алювіальних відкладах (aP_{II-III}) (Камзіст, Шевченко, 2009).

Територія дельти Дунаю, на якій розташовані рисові системи, практично позбавлена відтоку ґрунтових вод. Згідно з гідрогеолого-меліоративним районуванням цю

територію можна розділити на дві ділянки з різним режимом ґрунтових вод та умовами природної дренажності:

- територія з ускладненим відтоком ґрунтових вод, розташована між м. Ізмаїл і м. Кілія;
- територія, яка практично позбавлена відтоку ґрунтових вод, розташована між м. Кілія і Чорним морем.

Багатоплановість завдань дренажу РЗС у різні технологічні періоди вирощування рису передбачає застосування відповідних теоретичних залежностей, які дозволяють визначати параметри дренажу як з точки зору осушувальної дії, так і створювання достатньої інтенсивності промивного водного режиму, рівномірного за величиною по площі рисового чеку.

КІЛІЙСЬКА ТА ЛІСКІВСЬКА РИСОВІ ЗРОШУВАЛЬНІ СИСТЕМИ

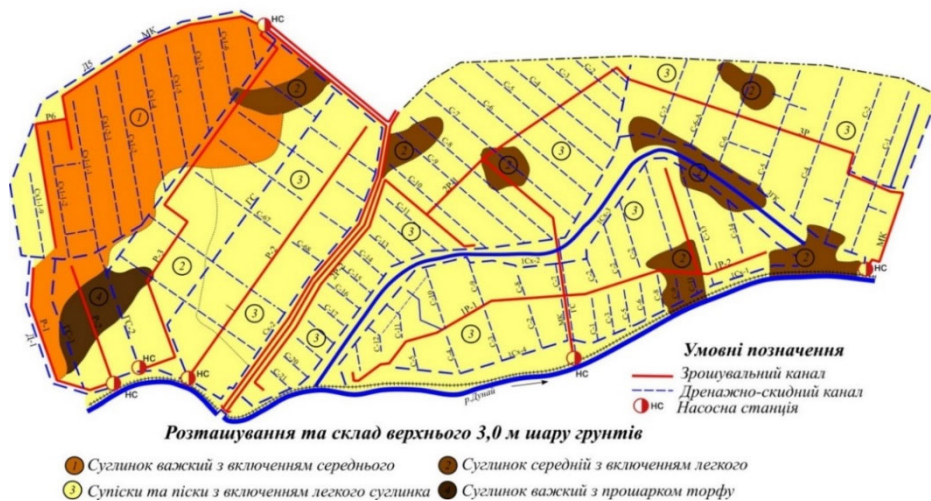


Рис. 1. Літологічна карта Придунайських РЗС

Багатоплановість завдань дренажу РЗС у різні технологічні періоди вирощування рису передбачає застосування відповідних теоретичних залежностей, які дозволяють визначати параметри дренажу як з точки зору осушувальної дії, так і створювання достатньої інтенсивності промивного водного режиму, рівномірного за величиною по площі рисового чеку.

Різна інтенсивність фільтрації за шириною карт-чеків обумовлює велику різницю в мінералізації ґрунтових вод та у вмісті солей у ґрунтах, що призводить до того, що в межах одного і того ж чеку створюються різні природно-меліоративні умови і, як наслідок, різна продуктивність вирощуваних культур. Дослідження фільтрації з поверхні поливних карт рисових систем дельти Дунаю (Сташук та ін., 2014, 2016) доводять, що найбільші значення швидкості фільтрації (від 4 до 20 мм/добу) спостерігаються на частині рисового поля, у так званих придренних зонах, на відстані до 50 м від картових дрен (рис. 2), за умови відсутності підпорів у дренажно-скидних каналах

і, відповідно, максимальній величині напірного градієнта. Далі, до середини міждрення, швидкість фільтрації незалежно від конструкції поливних карт і відстані між дренажними каналами перебуває в межах 1...2 мм/добу, тобто практично відсутня (рис. 3).

Аналіз результатів досліджень фільтрації показав, що для створення сприятливого водно-повітряного і сольового режимів ґрунтів зони аерації інтенсивність фільтрації у період вегетації рису повинна бути не надто високою, але рівномірною по всій площі поливної карти, а сам фільтраційний процес має бути керованим. Водночас, як показали дослідження, досягти рівномірного дренажу по всій площі рисового поля за існуючих конструкцій рисових карт і параметрів дренажу не можливо.

Тому без удосконалення роботи та уточнення конструктивних параметрів дренажно-скидної мережі існує реальна загроза виходу з ладу рисових систем і безповоротної втрати значних інвестицій на їхнє будівництво та освоєння.

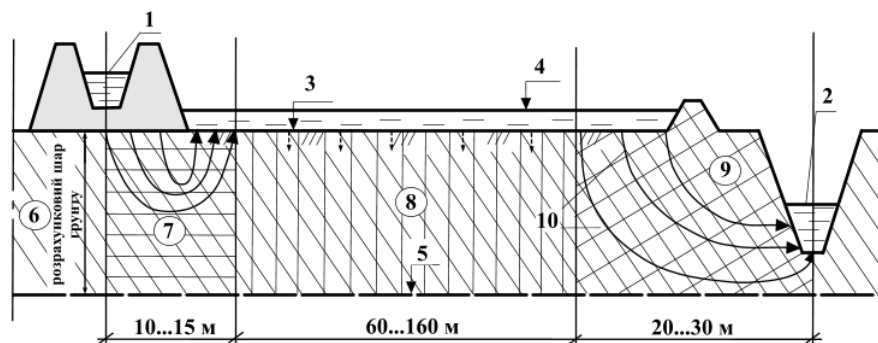


Рис. 2. Схема формування характерних зон фільтрації по профілю рисового чека:

- 1 – картовий зрошувальний канал; 2 – картовий дренажно-скидний канал; 3 – поверхня ґрунту; 4 – поверхня води; 5 – межа розрахункового шару ґрунту; 6 – розрахунковий шар ґрунту; 7 – зона випору ґрунтових вод; 8 – застійна зона; 9 – зона активної фільтрації; 10 – лінії напрямку руху фільтраційних потоків

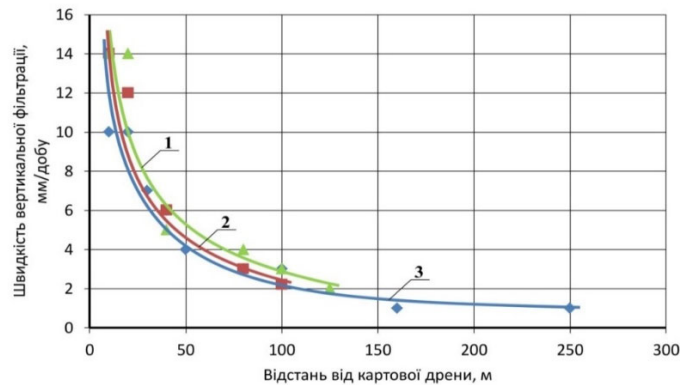


Рис. 3. Швидкість вертикальної фільтрації на картах-чеках залежно від відстані між дренажними каналами:
1 – B = 200 м; 2 – B = 250 м; 3 – B = 500 м

Для діючих РЗС системна оптимізація полягає в еколого-економічній оптимізації показників природно-меліоративних умов, технології водорегулювання, конструктивних рішень щодо їхнього забезпечення (Water-wise rice production, 2002). Оптимізація конструктивних параметрів РЗС і, у першу чергу параметрів дренажно-свідної мережі, виходячи з необхідності створення та підтримання промивного режиму на зрошуваних засоленних землях як основного чинника забезпечення їхнього сприятливого водно-сольового режиму й еколого-меліоративного стану, а також підвищення загальної технічної, технологічної, економічної та екологічної ефективності рисової системи, може бути зведена в кінцевому підсумку до оптимізації інтенсивності фільтрації при поверхневому поливі провідної культури рису за рахунок певного співвідношення між подачею і відведенням води за відповідного режиму зрошення. Саме фільтраційний режим, який формується на поливних рисових картах у період підтримання шару води при вирощуванні рису, а також у поза вегетаційний період визначає їхній загальний еколого-меліоративний стан, а також дає оцінку технологічній ефективності роботи дренажної мережі в різні періоди функціонування РЗС.

Згідно з (Рокочинський та ін., 2014; Turchenyuk, 2017) як економічний критерій та умови оптимізації конструкції й параметри дренажу РЗС на стадії проекту вважаємо за доцільне розглядати показник наведених витрат ZP_i з відповідним урахуванням погодно-кліматичного ризику R_i . Погодно-кліматичний ризик урахує відхилення водного режиму рисового поля від оптимального в розрахунку, як у поза вегетаційний осінньо-весняний (передпосівний), так і у вегетаційний періоди роботи системи за реалізації відповідних варіантів проектних рішень (ПР) сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$

$$ZP_i = Z_i \cdot k_{Z_i}^V = [(C_i + E_n K_i) + R_i] / V_i, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (1)$$

де $k_{Z_i}^V$ – коефіцієнт зведення наведених витрат Z_i за обсягом (вартістю) V_i отриманої продукції за варіантами режимних, технологічних і технічних рішень сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$, який визначається оберненим співвідношенням $1/V_i$; C_i – поточні витрати на отримання продукції за варіантами ПР; E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень K_i за відповідними варіантами ПР; R_i – погодно-кліматичний ризик за відповідними варіантами ПР.

Погодно-кліматичний ризик – це можливість втрати або недоотримання прибутку в результаті впливу несприятливих факторів під час проведення господарської діяльності або імовірність виникнення непередбачених

утрат очікуваного прибутку чи доходу у зв'язку з випадковою зміною умов економічної діяльності, впливом несприятливих обставин тощо (Рокочинський та ін., 2014).

Він визначається за формулою

$$\overline{R_i} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (W_{ij} - \overline{W}_{nm})^2 \cdot \alpha_{pj}} = \sqrt{\sum_{j=1}^m R_{ij}^2 \cdot \alpha_{pj}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де W_{ij} – вартість валової продукції за фактичною врожайністю вирощуваних сільськогосподарських культур, отриманою за i -м варіантом ПР, у.о./га; $\overline{W}_{nm}$ – вартість валової продукції за потенційно можливою їхньою врожайністю на об'єкті, у.о./га.

Оптимізація параметрів дренажу здійснювалась з урахуванням оптимальних параметрів швидкості вертикальної фільтрації на рисовому чеку, яка відображає одночасно режимний та технологічний аспекти водорегулювання на РЗС при реалізації відповідних гідрологічних і гідрогеологічних режимів на картах-чеках для встановленого оптимального показника пайової частки рису 50...60 % у сівозміні.

Щодо обґрунтування оптимальної швидкості фільтрації, конструкції й оптимальних параметрів дренажно-свідної мережі нами були сформовані такі варіанти проектних рішень:

- 1...3 – конструкція та параметри закритого систематичного дренажу на картах-чеках,
- 4...8 – удосконалена нами конструкція дренажно-свідної мережі на картах-чеках шляхом обладнання проміжних закритих дренажних колекторів і проведення глибокого розпушення,
- 9...12 – конструкція та параметри існуючої дренажно-свідної мережі у вигляді відкритих каналів.

Узагальнені результати такої оцінки наведено в табл. 1.

За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків оптимальний економічно вигідний варіант проектних рішень щодо розрахункової відстані між дренами дренажно-свідної мережі для умов Придніпурських РЗС становить 100 м. При цьому показник наведених витрат ZP_i з відповідним урахуванням погодно-кліматичного ризику є мінімальним і рівним 0,86. Установлена таким чином міждрена відстань, на відміну від існуючої 200...500 м між відкритими дренажно-свідними каналами, забезпечує створення та підтримання на рисовому полі сприятливого гідрологічного та гідрогеологічного режимів шляхом підтримання мінімально необхідного промивного водного режиму з оптимальною швидкістю вертикальної фільтрації 6...8 мм/добу.

Для зменшення величини швидкості вертикальної фільтрації у придренних зонах, де вона досягає 25 мм/добу, доцільно практикувати створення підпорів рівнів води в дренажно-свідній мережі (Рокочинський та ін., 2014).

Таблиця 1

Основні результати оптимізаційних розрахунків для Придунайських РЗС
щодо обґрунтування оптимальних параметрів дренажу на рисових картах-чеках

Варіанти ПР	Відстань між дренами	Глибина залягання РГВ в осінньо-зимовий період, м	Швидкість вертикальної фільтрації з поверхні рисового поля V, мм/добу	Капіталовкладення, у.о./га	Амортизаційні відрахування, у.о./га	Сільськогосподарські витрати, у.о./га	Меліоративні витрати, у.о./га	Вартість проекційної валової продукції, у.о.	Вартість фактичної валової продукції, у.о.	Погодно-кліматичний ризик	Показник приведених витрат з врахуванням погодного-кліматичного ризику
1	50	1,86	27,1	5972,45	298,62	414,12	470,75	2232,00	1249,92	666,53	2,20
2	75	1,78	12,0	4508,50	225,42	470,60	442,56	2232,00	1584,27	647,73	1,55
3	85	1,75	9,4	4299,36	214,97	546,82	437,54	2232,00	2035,58	196,42	1,00
4	100	1,59	6,8	3881,09	194,06	565,03	419,88	2232,00	2143,39	88,61	0,86
5	125	1,49	4,7	3462,82	173,14	523,45	428,75	2232,00	1897,20	334,80	1,04
6	150	1,35	3,0	3337,34	166,87	487,48	425,56	2232,00	1684,27	547,73	1,26
7	175	1,23	2,2	3253,68	162,68	435,80	360,94	2232,00	1378,26	853,74	1,67
8	200	1,11	1,7	2939,98	147,00	409,93	359,96	2232,00	1225,14	1006,86	1,93
9	225	0,95	1,3	2835,41	141,77	368,27	359,30	2232,00	978,48	1253,52	2,60
10	250	0,83	1,0	2626,27	131,31	354,25	358,82	2232,00	895,48	1336,52	2,88
11	300	0,60	0,7	2479,88	123,99	304,00	358,19	2232,00	597,95	1634,05	4,67
12	500	0,40	0,3	2208,00	110,40	291,44	470,75	2232,00	523,63	1708,37	5,34

Оскільки величина фільтраційного припливу в дренажно-скидні канали залежить від водопроникності ґрунтів і величини напірного градієнта фільтраційного потоку, то важливим фактором, який впливає на його величину, є глибина наповнення дренажно-скидних каналів і режим рівнів води в них протягом року. Змінюючи глибину наповнення дренажно-скидних каналів, можна

регулювати надходження фільтраційних вод із затоплених рисових чеків. При підпорі рівнів води в дренажних каналах швидкість фільтрації зменшується практично на порядок і становить у придренній зоні 4...5 мм/добу.

Таким чином, керуючи рівнями води в дренажно-скидній мережі та на поверхні рисового поля, можна регулювати швидкість фільтрації із затоплених рисових чеків і тим самим суттєво зменшувати втрати води на фільтрацію (рис. 4).

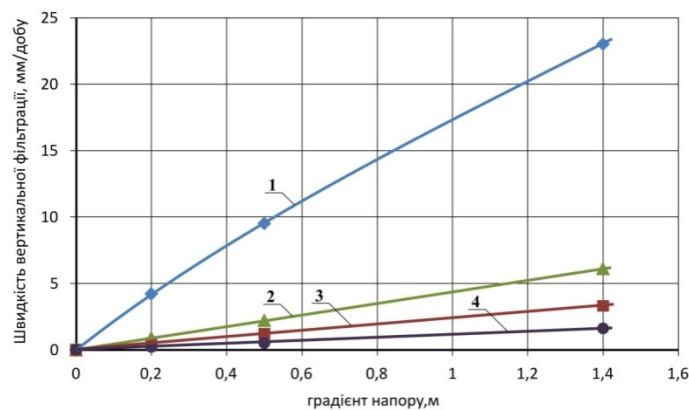


Рис. 4. Швидкість фільтрації з поверхні рисового поля залежно від величини діючого напору та відстані від осі дренажно-скидного каналу:
(B = 200 м), 1–15 м, 2–35 м, 3–50 м, 4–100 м

Як видно з рис. 4, швидкість фільтрації з чеку в зоні впливу дренажного каналу, за різних параметрів дренажної мережі та вільного відтоку дренажних вод з останнього ($h = 1,5$ м), становить 20...25 мм/добу. За підпертого рівня води ($h = 0,15$ м) швидкість фільтрації зменшується до 2...5 мм/добу. Загалом по чеку швидкість фільтрації змінюється від 8...12 мм/добу до 3...5 мм/добу залежно від параметрів дренажної мережі. Створення підпорів рівнів води у дренажно-скидних каналах дає можливість зменшити як величину зрошувальної норми до 18795 м³/га, так і фільтраційні скиди у дренажно-скидну мережу до 7732 м³/га та, відповідно, зменшити затрати на перекачування води насосними станціями.

Підпори рівнів води доцільно практикувати в картових дренажно-скидних каналах, які розташовані у межах

рисового поля, на період від повторного затоплення рисових полів після сходів рису і до настання фази воскової стиглості рису. Створення підпорів має велике значення як для зменшення фільтраційних втрат, так і для підвищення стійкості дренажно-скидних каналів (Рокочинський та ін., 2014).

За результатами замірів величини дренажного стоку за різних глибин наповнення каналу встановлена залежність питомого дренажного стоку від діючого напору (рис. 5), яка виражена рівнянням

$$q = 2,57 \cdot h^{1,72}, \quad (3)$$

де q – питомий дренажний стік з каналу в л/с з 1 км довжини каналу; h – діючий напір, м.

У польових дослідах на Кілійській рисовій зрошувальній системі питомий дренажний стік із картових дренажно-сидних каналів за діючого напору $h = 1,7$ м становив 6,43 л/с з 1 км, а за напору $h = 0,3$ м – відповідно 0,32 л/с з 1 км, тобто він зменшується практично у 20 разів.

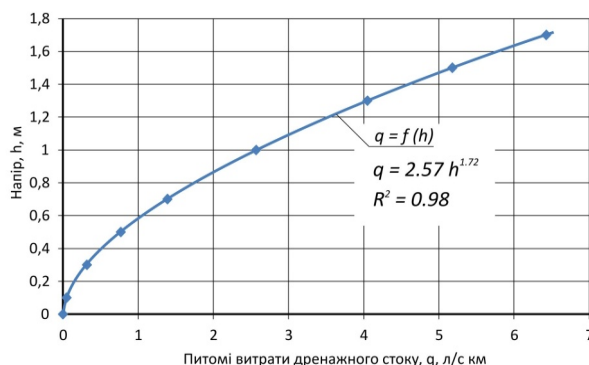


Рис. 5. Залежність дренажного стоку з картового дренажно-сидного каналу від діючого напору

Висновки. Для створення та підтримання на існуючих рисових системах сприятливого гідрогеологічного, гідрогеологічного режимів і відповідного еколого-меліоративного стану необхідно забезпечувати мінімально необхідний рівень дренажності ґрунтів з метою ліквідації передумов для їхнього вторинного засолення. При цьому завдання дренажу рисової системи як основного засобу регулювання їхнього водного і сольового режимів – це розсолоння ґрунтів у період вирощування рису, забезпечення оптимальних швидкостей фільтрації води в ґрунті 6...8 мм/добу протягом усього вегетаційного періоду і забезпечення швидкого просушування чеків у післяполивний період.

Дослідження фільтраційних процесів з поверхні поливних карт рисових систем дельти Дунаю показало, що підвищення врожайності рису, створення сприятливих умов для протікання окисно-відновних процесів відбувається за рівномірного розподілу швидкості фільтрації за площею та ґрунтовим профілем рисової карти.

Для забезпечення необхідних швидкостей фільтрації відстані між дренажно-сидними каналами, як показали оптимізаційні розрахунки за показником наведених витрат для умов Придунайських РЗС, необхідно зменшити до 100 м. Цього можна досягти шляхом дооснащення існуючої дренажної мережі у вигляді відкритих картових дрен поодинокими закритими дренами-колекторами, які доцільно влаштовувати вздовж карт-чків з дотриманням розрахункової відстані.

Зменшення величини швидкості вертикальної фільтрації в придренних зонах, де вона перевищує 25 мм/добу, досягається шляхом створення підпорів рівнів води в дренажно-сидній мережі.

Таким чином, запропоновані заходи дадуть змогу забезпечити підтримання на існуючих рисових системах задовільного гідрогеологічного режиму, продовжити період із сприятливим стоянням РГВ на картах-чеках у міжполивний період на 30–100 діб, довівши його загальну тривалість до 200–220 діб. Це створює необхідні умови для повного окиснення усіх відновлених токсичних продуктів до початку нового поливного сезону і забезпечує тим самим сприятливий еколого-меліоративний стан РЗС загалом.

Фінансові витрати на вдосконалення конструкції дренажно-сидної мережі карт-чків компенсуються за рахунок економії зрошувальної норми і зменшення фільтраційних скидів під час експлуатації РЗС, тобто шляхом економії водних та енергетичних ресурсів.

Список використаних джерел

Гончаров, С.М. (1969). О формировании режима грунтовых вод на рисовых оросительных системах центральной части дельты Дуная. Мелиорация и водное хозяйство, 10, 37–44.

Таким чином зменшуючи діючий напір шляхом створення підпорів рівнів води в картових дренажно-сидних каналах протягом вегетаційного періоду, можна досягти значного зменшення втрат води із затоплених рисових чків.

Камзіст, Ж.С., Шевченко, О.Л. (2009). Гідрогеологія України. К.: Фірма Інкос.

Кропиво, С.М. (1987). Исследование эффективности карт-чехов широкого фронта затопления с дренажем (на примере рисовых оросительных систем дельты Дуная). Автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 06.01.02 "Мелиорация и орошаемое земледелие". Ровно.

Легенда до гідрогеологічної карти комплексу Державної геологічної карти України масштабу 1 : 200 000. Причорноморська серія. (2007). Пояснювальна записка; за ред. В.Г. Тюреміної. Одеса.

Мендусь, С.П., Мендусь, П.І., Рокочинський, А.М. (2007). Оцінка меліоративного стану та ефективності рисових систем. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: зб. наук. праць, 32, 38–49.

Рокочинський, А.М., Турченко, В.О., Заєць, В.В., Приходько, Н.В. (2014). Підвищення ефективності функціонування Грідунайських рисових зрошувальних систем. Вісник аграрної науки, 4 (734), 53–57.

Шашук, В.А., Рокочинський, А.М., Грановська, Л.М. та ін. (2014). Рис в Україні. Херсон: Гринь Д.С.

Шашук, В.А., Рокочинський, А.М., Мендусь, П.І., Турченко, В.О. та ін. (2014). Рис Придунав'я. Херсон: Гринь Д.С.

Якуба, С. (2007). Параметры оптимизации рисовых оросительных систем для обеспечения энергетической безопасности водохозяйственного комплекса Нижней Кубани. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 34, 109–113.

Giveson, Zulu, Masaru, Toyota, Shin-ichi, Misawa. (1996). Characteristics of water reuse and its effects on paddy irrigation system water balance and the rice and ecosystem. *Agricultural Water Management*, 31, 269–283.

Turchenyuk, V., Frolenkova, N., Rokochynskyi, A. (2017). Environmental and economic foundations of system optimization of operational, technological and construction parameters of rice irrigation systems. *Environmental Economics*, 8 (2), 76–82. Отримано з <https://businessperspectives.org/journals/environmental-economics/issue-248>. doi:10.21511/ee.08(2). 2017.08.

Water-wise rice production. (2002). Edited by B.A.M. Buman, H. Hengsdijk, B. Hardy, P.S. Bindraban, T.P. Tuong and J.K. Landa. Proceeding of the Intern. Work-shop (8–11 apr. 2002) IRRI, 356.

References

Giveson, Zulu, Masaru, Toyota, Shin-ichi, Misawa. (1996). Characteristics of water reuse and its effects on paddy irrigation system water balance and the riceland ecosystem. *Agricultural Water Management*, 31, 269–283.

Goncharov, S.M. (1969). Formation of groundwater regime on rice irrigation systems of the Danube's delta central part. *Land reclamation and water management*, 10, 37–44. [in Russian]

Jakuba, S. (2007). Optimization parameters of rice irrigation systems to ensure the energy security of the water economy of the Lower Kuban. *Political Internet electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, 34, 109–113. [in Russian]

Kamzist, J.S., Shevchenko O.L. (2009). Hidrogeology of Ukraine. K.: Firma Inkos. [in Ukrainian]

Kropyvko, S.M. (1987). Astudy of the effective ness of cardchecks of a wide flood front with drainage (on the example of rice irrigation systems of the Danube Delta). *Extended abstract ... Cand. thesis. (Tech. Sci.): special. 06.01.02 "Lendreclamation and irrigated agriculture"*. Rivne. [in Russian]

Mendus', S.P., Mendus', P.I., Rokochynskyi, A.M. (2007). Assessment of the reclamation camp and the effectiveness of rice systems. *Hydroreclamation and hydrotechnical building: Collect. sciences works*, 32, 38–49. [in Ukrainian]

Rokochynskyi, A.M., Turchenyuk, V.O., Zayec', V.V., Prihodko, N.V. (2014). Increasing the efficiency of functioning of the Danube rice irrigation systems. *Bulletin of agrarian science*, 4 (734), 53–57. [in Ukrainian]

Shashuk, V.A., Rokochynskyi, A.M., Granovskaya, L.M. et al. (2014). Rice in Ukraine. Kherson: Grin D.S. [in Ukrainian]

Shashuk, B.A., Rokochynskyi, A.M., Mendus', P.I., Turchenyuk, V.O. et al. (2014). Rice in the Danube basin. Kherson: Grin D.S. [in Ukrainian]

Turchenyuk, V., Frolenkova, N., Rokochynskiy, A. (2017). Environmental and economic foundations of system optimization of operational, technological and construction parameters of rice irrigation systems. *Environmental Economics*, 8 (2), 76–82. Retrieved from <https://businessperspectives.org/journals/environmental-economics/issue-248>. doi:10.21511/ee.08(2).2017.08.

Water-wise rice production (2002). Edited by B.A.M. Buman, H. Hengsdijk, B. Hardy, P.S. Bindraban, T.P. Tuong and J.K. Landa. *Proceeding of the Intern. Work-shop* (8–11 apr. 2002) IRRRI, 356.

Надійшла до редколегії 14.05.20

A. Rokochinskiy, Dr. Sci. (Tech.), Prof.,
E-mail: a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua;
V. Turchenyuk, Dr. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.,
E-mail: fwg@ukr.net;
P. Volk, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.,
E-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua;
N. Prihodko, Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer,
E-mail: n.v.prihodko@nuwm.edu.ua;
N. Frolenkova, Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof.,
E-mail: n.a.frolenkova@nuwm.edu.ua;
National University of Water and Environmental Engineering,
11 Soborna Str., Rivne, 33000, Ukraine;
O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: shevch62@gmail.com;
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

FORMATION OF HYDROGEOLOGICAL-RECLAMATION SITUATION ON THE RICE IRRIGATION SYSTEMS OF THE DANUBE RIVER AND WAYS OF INCREASING THEIR ECONOMIC EFFICIENCY TAKING INTO ACCOUNT WEATHER AND CLIMATE RISKS

The analysis of the main reasons for the unsatisfactory hydrogeological-reclamation state of the Danubian rice irrigation systems was carried out and the ways of its improvement due to the increase of drainage ability of irrigated lands of rice systems were considered. On the saline lands of the rice systems of the Danube delta drainage network is the main means of active and directed influence on the water-salt regime of the reclaimed area, formation of the regime of groundwater level, both in the growing season and in the not irrigated period for rice and attendant crops. Drainage network is essentially a determining factor in the formation of productivity of agricultural lands. An analysis of the efficiency of the drainage operation on the rice systems of the Danube Delta has shown that drainage built in accordance with the design standards that were in force at the time of construction does not provide uniform drainage ability in the area and the soil profile of rice fields. This is one of the main reasons for their unsatisfactory hydrogeological-reclamation state and reducing the yield of rice and attendant crops. By conducting optimization calculations according to the expense indicator, taking into account that optimal vertical filtration rate for the Danubian rice irrigation systems is at the level of 6...8 mm/day the optimal distance between the drains – 100 m was determined. Constructive improvement of existing rice systems with the drainage network in the form of open drains and distances between them – 250...500 m can be accomplished through the installation of additional separate closed drain-collectors. These drain-collectors are appropriate to arrange along the checks, with the set distance. For reducing the value of the vertical filtration rate in the drainage zone where it reaches 25 mm/day it is advisable to practice maintaining of water levels in the drainage network. Consequently, it is possible to achieve a reduction of the filtration rate to 4...5 mm/day. Developed measures and corresponding reconstruction of rice systems will enable to maintenance of satisfactory hydrological and hydrogeological regimes, ensure uniform salinity of soils during the cultivation of flooded rice, create favorable conditions for oxidation-reducing processes and maintenance of favorable ecological-reclamation state on the system.

Keywords: hydrogeological-reclamation state, rice irrigation system, filtration rate, drainage network, optimization.

A. Рокочинский, д-р техн. наук, проф.,
E-mail: a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua;
В. Турченко, д-р техн. наук, доц.,
E-mail: fwg@ukr.net;
П. Волк, канд. техн. наук, доц.,
E-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua;
Н. Приходько, канд. техн. наук, ст. препод.,
E-mail: n.v.prihodko@nuwm.edu.ua;
Н. Фроленкова, канд. экон. наук, доц.,
E-mail: n.a.frolenkova@nuwm.edu.ua;
Национальный университет водного хозяйства и природопользования,
ул. Соборная, 11, г. Ровно, 33000, Украина;
А. Шевченко, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: shevch62@gmail.com;
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОЙ ОБСТАНОВКИ НА РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПРИДУНАВЬЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ С УЧЕТОМ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ

Проведен анализ основных причин неудовлетворительного гидрогеолого-мелиоративного состояния рисовых оросительных систем Приднэуавья и рассмотрены пути его улучшения путем повышения дренированности орошаемых земель рисовых систем. На засоленных землях рисовых систем дельты Дуная дренажно-сбросная сеть является главным средством активного и целенаправленного воздействия на водно-солевой режим мелиорированной территории, формирования режима уровня грунтовых вод, как в вегетационный, так и в межполивной период для риса и сопутствующих культур, и является по сути определяющим фактором продуктивности сельскохозяйственных угодий. Анализ эффективности работы дренажа на рисовых системах дельты Дуная показал, что дренаж, построенный в соответствии с действующими на время строительства нормами проектирования, не обеспечивает равномерную дренированность по площади и почвенному профилю рисовых полей и является одной из главных причин их неудовлетворительного гидрогеолого-мелиоративного состояния, снижения урожайности риса и сопутствующих культур. Путем проведения оптимизационных расчетов по показателю приведенных затрат, при условии обеспечения при этом оптимальной скорости вертикальной фильтрации на уровне 6...8 мм/сутки для рисовых систем Приднэуавья установлено оптимальное расстояние между дренами – 100 м. Для существующих рисовых систем с дренажно-сбросной сетью карт-чек в виде открытых карт-чек с междренными расстояниями 250...500 м ее конструктивное усовершенствование возможно путем дооснащения одиночными закрытыми дренами-коллекторами, которые целесообразно устраивать вдоль карт-чек с соблюдением расчетного расстояния. Для уменьшения величины скорости вертикальной фильтрации в придренных зонах, где она достигает 25 мм/сутки, целесообразно практиковать создание подпорных уровней воды в дренажно-сбросной сети. Создание подпорных уровней воды в дренажных каналах уменьшает скорость фильтрации в придренных зонах карт-чек практически на порядок – до 4...5 мм/сутки. Разработанные мероприятия и соответствующая реконструкция рисовых систем позволяют обеспечить поддержание удовлетворительного гидрологического и гидрогеологического режимов, обеспечить равномерное рассоление почв по всей площади при выращивании культуры затопляемого риса, создать благоприятные условия для протекания окислительно-восстановительных процессов, поддержания благоприятного эколого-мелиоративного состояния системы в целом.

Ключевые слова: гидрогеолого-мелиоративное состояние, рисовая оросительная система, скорость фильтрации, дренажно-сбросная сеть, оптимизация.

UDC 631.413.2: 546.73(477)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.12>O. Tonkha¹, Dr. Sci. (Agri.), Prof.,

E-mail: oksana16095@gmail.com;

O. Bukova², Head of the laboratory;O. Pikovska¹, PhD (Agri.), Assoc. Prof.;I. Fedosiy¹, PhD (Agri.);O. Menshov³, Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher,

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

A. Shepel⁴, PhD (Agri.), Assoc. Prof.;¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

17 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041 Ukraine;

²LLC Lotivka Elit, Khmelnytsky, Ukraine;³Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine;

⁴Kherson State Agrarian University, Kherson, Ukraine

SILICON CONTENT, PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS OF THE KHMELNYTSKY REGION OF UKRAINE

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

Silicon plays the significant role in the growth and development of plants, their resistance to stress conditions. However, there is limited research on the content of various forms of silicon in soils, the relationship with soil cations, which is particularly relevant in the context of intensive agriculture and climate aridization in Ukraine. The purpose of the present study was to determine the content of silicon compounds of different mobility in the arable soils of the Khmelnytsky region, the spatial variation of these parameters, and to detect the dependence between the content of silicon compounds and soil particle size. The study was performed at the area of LLC "Lotivka Elit" of Shepetivka district of Khmelnytsky region in field crop rotation. We determined for soil samples: particle size distribution and content of fractions of granulometric elements of different sizes, pH of salt extraction (1,0 M KCl solution), humus content, calcium and magnesium exchangeable compounds by extraction with 1,0 M KCl solution. The results showed that the content of silicon compounds in soils depends on the particle size distribution of soil, the value of exchangeable acidity, humus content, and the composition of exchangeable cations.

Keywords: silicon, soil cations, soil reaction, exchangeable cations, soil texture.

Introduction. The special attention require the soil studies in Ukraine in the current conditions of agrarian reform and the introduction of the agricultural land market in Ukraine. In recent years, agrarians in Ukraine have noted the direct impact of global warming on crop is increasing and expanding. The study of soil nutrient regimes is of the great importance. However, there is a limited amount of the research of the individual elements, including silicon. That is why our aim was to study the content of silicon compounds of different mobility in soils and its correlation with indicators of soil physicochemical properties.

State of the art. Silicon (Si) is the second most prevalent crust mineral and occupies 27,6 % of the crust mass. Its role in soils and plants is not well understood (Matychenkov, 2008). Its concentration in soils varies greatly from less than 1 % to more than 45 %. The main factor influencing this is the parent material, but it is important to study other factors of influence: climate, plants, the land use (Landré et al., 2020). Silicon is a widespread and differentially distributed element in soils that has important biological functions. However, the content of silicon differs in different crops due to their ability to use this element (Rios et al., 2017).

A number of studies (Coskun et al., 2016; Ranjbar et al., 2019) have established the role of silicon in growth and development of plants, their resistance to stress conditions, including salinity and drought. The use of Si reduced stress in soil salinization by reducing the absorption of sodium cation and improving feed efficiency, thereby increasing plant dry matter in sorghum by 27 % and sunflower by 41 %. This occurred when Si was applied either by root application or by a combination of root and root application respectively. The use of Si can permanently reduce the harmful effects of salt stress and increase the yield of sorghum and sunflower plants (Hurtado et al., 2019).

The number of studies note the importance of silicon in the face of global climate change. The silicon content of plants can vary greatly between plants and perform different roles and functions in plant biology (Katz, 2019). The content of silicon in soils depends on the reaction of the soil environment. The alkalinity of the soil adversely affects the

growth and development of agricultural plants, and therefore studies on the effects of exogenous silicon (Si) and salicylic acid (SA) on plants (Khan et al., 2019). Plants treated with silicon formulations had formed larger biomass, had higher biomass content and a better root system than the control plants. Silicon preparations counteracted the oxidative damage of alkaline stress, reducing the accumulation of reactive oxygen species and lipid peroxidation. Silicon improves alkaline stress resistance in tomato seedlings, modifying the content of endogenous Na⁺ and K⁺, regulating oxidative damage and key genes, and modulating endogenous hormone levels.

Recently, a number of studies considered the modern approaches of soil properties estimation (Mank et al., 2019; Tonkha et al., 2017, 2018). The studies require the adaptation of land management investigations (Khmelnovskiy et al., 2019) and implementation of coordinated agroforestry activities. Among the rapid methods of the investigation of thermal transformations is the temperature programmed desorption mass spectrometry (Palanytsia et al., 2014). According to (Bobos et al., 2019), the density of the plants significantly influenced the economically valuable indicators, because there is always competition for light, moisture and nutrients between plants in the life process.

Magnetic method is the low cost and time saving technology to study soil properties (Gadirov et al., 2018; Menshov et al., 2016, 2020; Menshov and Sukhorada, 2018), to assess soil erosion and degradation (Menshov, 2016). The study (Menshov et al., 2018), showed a strong correlation between the magnetic susceptibility (MS) and the erosion index. MS and the erosion index were found to correlate with the humus content (Kruglov et al., 2018). Environmental magnetic studies require the attracting of the evidence from the related fields to improve the methodology of the research (Tabachenko et al., 2016; Dychkovskiy et al., 2020; Lozynskiy et al., 2020).

Thus, the studies of the role of silicon in the growth and development of plants, their resistance to stress conditions are of the great importance. That is why studies of the content of various forms of silicon and their relationship with soil cations under climate aridization are relevant.

Methods. The purpose of the research was to determine the content of silicon compounds of different mobility in the arable soils of the Khmelnytsky region. We determined the spatial variation of the parameters, evaluated the dependence between the content of silicon compounds and soil particle size (soil texture). Finally, we detected content of exchangeable bases of calcium and magnesium.

The experiment was performed in the fields of LLC "Lotivka Elit" of Shepetivka district of Khmelnytsky region close to the settlement of Mokiyivka. The study area is field crop rotation: corn for grain – soybean – winter wheat – corn for grain – pea. The soils of the territory are dark grey forest and chernozems podzolized light- and medium-loamy on loesses. Soils are characterized by good fertility rates. The humus content in the upper horizon reaches 3,0–3,5 %. The availability of mobile phosphorus compounds is medium and high and mobile potassium compounds are high. The natural development of the processes of podzolization and agricultural use of soils with applying of high doses of nitrogen fertilizers leads to a decrease in the reaction of the soil solution to slightly acidic, and in some places – medium acidic values.

Soils were sampled from the arable horizon, from a depth of 0–25 cm, the amount is 30 soil samples, and the distribution of soil samples was random. Soil samples were collected in accordance with ISO 10381-2. Preparation for chemical analysis was performed according to DSTU ISO 11464-2001.

The soil samples analysis included: particle size distribution and content of fractions of granulometric elements of different sizes determination according to DSTU 4730:2007; pH of salt extraction (1,0 M KCl solution) according to DSTU ISO 10390:2001; humus content according to DSTU 4289:2004; content of calcium and magnesium exchangeable compounds by extraction with 1,0 M KCl solution. Silica compounds in soils were

determined by Mallen and Riley's method with silicon extraction (Titova et al., 2011). This method allows determining the content of monosilicic acids in the soil. Two types of extraction solutions were used to determine the varying degrees of accessibility of the silica compounds: readily available (actual) silicon was determined by 0,01 M CaCl_2 extraction, hard-soluble (potential) silicon was determined by 0,1 M HCl extraction, in a soil: solution ratio 1 : 10, time interaction of soils with extraction solutions was 1 hour.

Results and discussion. The annual uptake of silicon by crops is more than 200 million tons in the world, which leads to a decrease in the concentration of silicon available to plants, especially in the arable layer of soils used in agriculture (Titova et al. 2011). There are only several case studies to evaluate the content and dynamics of silicon compounds, their relationship with other elements in soils of agricultural use, especially in soils of medium and heavy texture.

The analyzed soil samples were grouped by the content of the fraction of "physical clay", particle size less than 0,01 mm, in the following groups: less than 25,0 %, 25,0–29,9 %, 30,0–34,9 %, 35,0–39,9 % of physical clay content. Among the samples tested, the largest amount contained more than 30,0 % of the particles of physical clay. The most of studied samples belong to the medium loamy texture. For each group of samples the average values of the studied parameters are deduced. The deviations, which are presented in relative percentages, are calculated. We assume that if the deviation of the individual values from the average is less than 30 %, then it is possible to make high reliability conclusions about the regularities and relationships between the indicators.

Soils of the Mokiyivtsi area have an average pH of 4,9–5,4, the acidity of these soils decreases with increasing content of physical clay (see Table 1).

Table 1
Granulometric composition and physical and chemical properties of the investigated soils of the Khmelnytsky region, Shepetivka district, Mokiyivtsi area, mean values and standard deviations

Groups by physical clay particles (<0,01 mm) content in soil	Amount of soil samples analyzed	Content of granulometric particles of different sizes						pH, salt extraction		Humus content, %		Content of sum of exchangeable bases Ca+Mg, mmol/100 g soil	
		<0,01 mm, %		<0,005 mm, %		<0,001 mm, %							
		average	deviation, % relative	average	deviation, % relative	average	deviation, % relative	average	deviation, % relative	average	deviation, % relative	average	deviation, % relative
< 25,0 %	4	20,8	10	17,7	12	13,2	17	4,9	16	2,1	29	6,3	33
25,0–29,9 %	4	26,8	8	22,0	15	15,7	18	4,9	14	2,1	33	8,3	19
30,0–34,9 %	12	32,0	5	26,6	5	19,5	8	5,2	8	2,9	21	11,6	17
35,0–39,9 %	10	36,6	4	30,6	8	22,0	6	5,4	7	3,3	15	13,2	19

The average values of humus content in soils of the Mokiyivtsi area increases from 2,1 to 3,3 %, and a positive correlation of this indicator with the content in the soil of physical clay particles is observed.

The content of the sum of the exchangeable bases of calcium and magnesium in the soils of the studied area increases with the increasing of content of the physical clay fraction.

The average values of readily available silicon content in the studied soils range from 51 to 92 mg/kg SiO_2 (Table 2). But in the soils of this area there is a slight tendency to increase the content of readily available silicon with increasing content of physical clay in soil. But these soils are characterized by high deviations of individual values from the average (up to 90 %). In our opinion, this tendency is also associated with a decrease in the acidity of the soil solution in the soil of this area and increasing of content of calcium and the amount of exchangeable bases in soils.

The dependence of change in the content of silicon compounds from the particle size distribution and the content of calcium and magnesium bases is better observed for the fraction of hard-soluble silicon in soils of the studied area. Average values of hard-soluble silicon in soils of Mokiyivtsi area increased from 326 to 570 mg/kg SiO_2 , and deviations of individual samples from average didn't exceed 30 % (Table 2).

The dependence of change of the content of silicon compounds from the particle size distribution and the content of calcium and magnesium bases is observed for the fraction of hard-soluble silicon in soils of the studied area. Average values of hard-soluble silicon in soils of Mokiyivtsi area increased from 326 to 570 mg/kg SiO_2 , and deviations of individual samples from average didn't exceed 30 % (see Table 2).

Table 2

Content of exchangeable calcium and magnesium cations, and silicon compounds of different fractions in soils of Khmelnytsky region, Shepetivka district, Mokiivtsi area

Area	Groups by physical clay particles (<0,01 mm) content in soil	Amount of soil samples analyzed	Exchangeable Calcium content, Ca, mg/kg		Exchangeable Magnesium content, Mg, mg/kg		Readily-available silicon content, SiO ₂ , mg/kg		Hard-soluble silicon content, SiO ₂ , mg/kg		Ratio Ca exchangeable/SiO ₂ hard-soluble, based on averages
			average	deviation, % relative	average	deviation, % relative	average	deviation, % relative	average	deviation, % relative	
Mokiivtsi	< 25,0 %	4	1000	34	157	50	51	90	326	13	3,1
	25,0–29,9 %	4	1330	24	195	9	60	53	405	19	3,3
	30,0–34,9 %	12	1990	18	205	27	68	63	502	25	4,0
	35,0–39,9 %	10	2290	20	165	28	92	65	570	22	4,0

The results have shown that the behavior of silicon compounds in soils is influenced by the particle size distribution of the soil, as well as by the composition and content of the exchangeable cations. The content of exchangeable cations in the soil depends largely on the calcium content. We studied the relation between exchangeable calcium and hard-soluble silicon compounds in soil. The average calcium content of the studied soils is 1000–2290 mg/kg of Ca. The average values of the content of hard-soluble silicon are 326–570 mg/kg in terms of SiO₂. The content of these compounds of silicon in the soil is 3,1–4,0 times lower than the content of calcium. There is a tendency of increasing of the Ca/SiO₂ ratio with an increase of physical clay content in the soils of the Mokiivtsi area (Table 2).

We proposed to evaluate the level of balance of silicon compounds in agricultural lands by the content of readily available (actual) and hard-soluble (potential) silicon according to (Titova et al., 2011). The mean values of readily available (actual) silicon of 21–40 mg/kg SiO₂ and 301–600 mg/kg SiO₂ of hard-soluble (potential) silicon by this graduation are attributed to the low deficit of silicon, and values higher than 40 mg/kg SiO₂ readily available and higher than 600 mg/kg SiO₂ hard-soluble mean no deficit silicon balance.

When evaluating the silicon balance by the specified graduation, we observe that the investigated soils of the Khmelnytsky region have mainly low-deficient silicon balance, both of readily-available and hard-soluble forms. However, individual samples of the Mokiivtsi area have an average deficiency of silicon, in particular if the evaluation is carried out on the content of readily available (actual) silicon compounds in the arable layer of the studied soils.

According to the field studies of the microrelief as well as the content of silicon, physicochemical properties, we attracted the data from the Mokiivtsi array. The different features of the relief were analyzed.

The field M3-06 has almost flat surface, the height difference in the studied area is not more than 2 m per 1000 m of length (Fig. 1).

The point M3-06-21 is on the most elevated level section when the point M3-06-09 is in a small depression between two rises. The content of physical clay (particles < 0,01 mm) at these points is 32,7–32,4 %, the difference is insignificant. The content of the sum of cations of calcium and magnesium between points differs up to 1,7 mmol/100 g or 16,5 % relative. The content of silicon compounds extracted with 0,1 M HCl at these points is 350 and 714 mg/kg. The difference is 364 mg/kg or 52,4 % relatively (see Table 3).

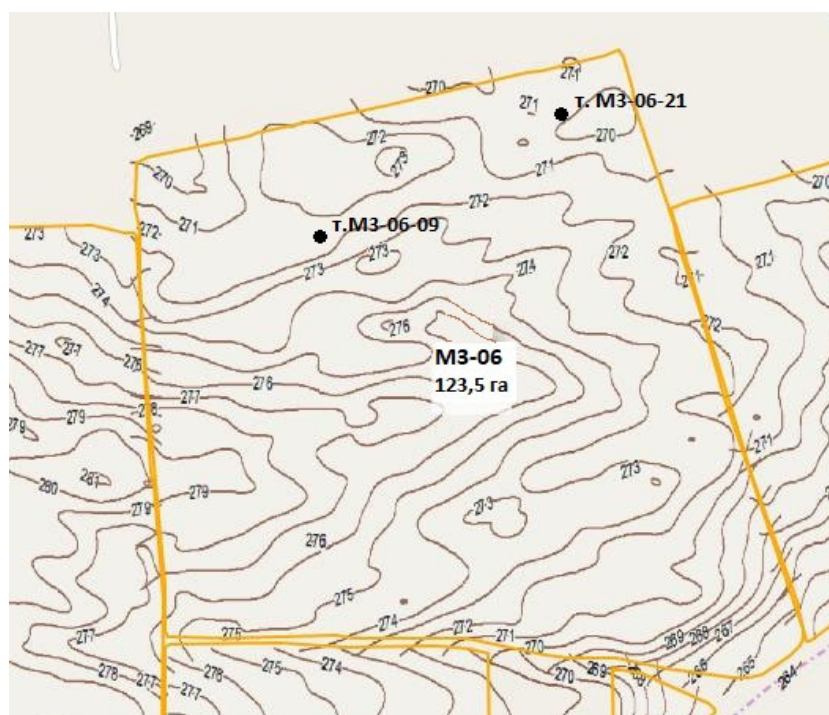


Fig. 1. Relief cartogram in section of heights of 1 m, field M3-06

Table 3

Physico-chemical properties of the soil and the content of silicon compounds of different solubility of the points of selection according to the relief cartograms

Code of field	Code of point	pH H ₂ O	Humus content, %	Content of particles <0,01 mm in soil texture	Ca+Mg, mmol/100 g	SiO ₂ , CaCl ₂ extraction, ppm	SiO ₂ , HCl extraction, ppm
M3-06	M3-06-09	6,5	3,5	32,4	12,0	72	714
M3-06	M3-06-21	6,0	2,7	32,7	10,3	56	350
M8-03	M8-03-09	6,3	2,8	33,9	12,3	319	694
M8-03	M8-03-32	5,8	3,1	35,1	13,5	92	186

The next field M8-03 is characterized by much higher dissected relief, has a slope in the north-eastern direction with a height difference of 18 m by 1000 m in length (Fig. 2). The point M8-03-32 is located on a steeper section of the slope, where the height difference is up to 4 m by 50 lengths, i.e. the slope is about 4,5–5. Point M8-03-09 is located at the gentler section of the slope, with a concave shape of the microrelief, the slope steepness does not exceed 2°.

According to the content of physical clay, these points have similar values (33,9–35,1 %). The content of the sum of cations of calcium and magnesium differs up to 1,2 mmol/100 or 8,8 % relative. The content of silicon compounds extracted with 0,1 M HCl at these points is 186 and 694 mg/kg, the difference is 508 mg/kg or 73,2 % relatively in favor of a point that is within the concave shape of the terrain (see Table 3).

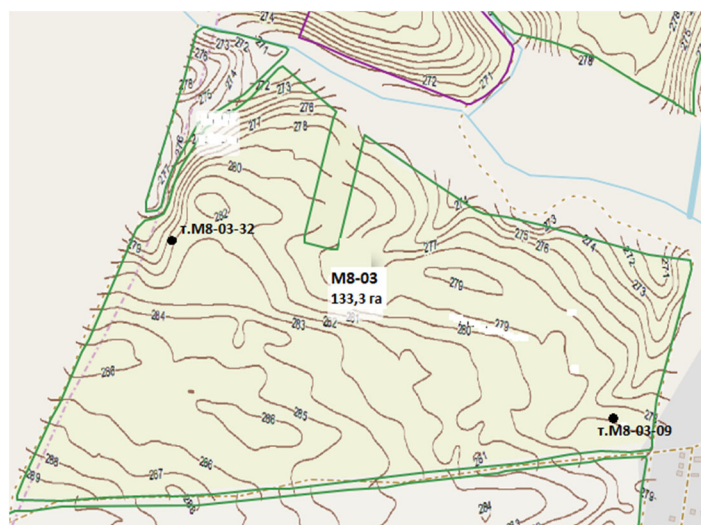


Fig. 2. Relief cartogram in section of heights of 1 m, field M8-03

Conclusions. The average values of the content of readily-soluble silicon compounds in the investigated light loamy and medium loamy soils of agricultural lands of Khmelnytsky region Shepetivka district Mokiyivtsi area range from 51 to 92 mg/kg SiO₂, and the content of soluble compounds is 326–570 mg/kg of SiO₂.

The results have shown that the content of silicon compounds in soils are related to the particle size distribution of the soil, the value of the exchangeable acidity, the content of humus, and the composition and content of exchangeable cations. The considered cases show that the content in the soil of silicon extracted with 0,1 M HCl depends on the features of the microrelief, can be an indicator of accumulative and erosion processes, and is the parameter that varies more intensely compared to the particle size distribution and content of calcium exchange cations and magnesium. This statement needs further research.

Acknowledgment. This study was supported by the Ministry of Education and Science of Ukraine as apart of research projects #110/4-np-2020 of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine as well as #18БП049-01 of Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Список використаних джерел

- Круглов, О., Меньшов, О., Улько, Є., Кучер, А., Назарок, П. (2018). Індикація ерозійних процесів у ґрунтового покриві Харківської області за магнітними даними. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 82(3), 36–44.
- Матиченков, В.В. (2008). Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение. *Автореф. дис. ... д-ра. биол. наук.* Пушино.
- Меньшов, О., Сухорада, А. (2017). Основи теорії та методології геофізики ґрунтового покриву: перші результати практичного застосування.

Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 79(4), 35–39.

Меньшов, О., Кудеравець, Р., Попов, С., Хоменко, Р., Сухорада, А., Чоботок, І. (2016). Термоманітний аналіз ґрунтів територій покладів вугледовнів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 73(2), 33–37.

Меньшов, О.І. (2016). Застосування магнітних методів для контролю змін продуктивних земель. *Геофізичний журнал*, 38(4), 130–137.

Титова, В.І., Дабахова, Е.В., Дабахов, М.В. (2011). Агро-и биохимические методы исследования состояния экосистем: учеб. пособие для вузов. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 73–84.

Тонха, О.Л., Балаев, А.Д., Піковська, О.В. (2017). Формування мікробного комплексу чорнозему реградованого за різних систем удобрення. *Науковий журнал "Рослинництво та ґрунтознавство"*, (269), 148–153.

Bobos, I., Zavadzka, O., Tonha, O., Olt, J., Fedosy, I. (2019). Optimization of plant densities of dolichos (*dolichos lablab* L. var. *lignosus*) bean in the Right-bank of Forest-steppe of Ukraine. *Agronomy Research*, 17(6), 2195–2202.

Coskun, D., Britto, D.T., Huynh, W.Q., Kronzucker, H.J. (2016). The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1072.

Dychkovskiy, R., Shavarskiy, Ia., Saik, P., Lozynskiy, V., Falshtynskiy, V., Cabana, E. (2020). Research into stress-strain state of the rock mass condition in the process of the operation of double-unit longwalls. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 85–94. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.085>

Gadirov, V.G., Eppelbaum, L.V., Kuderavets, R.S., Mеньшов, О.І., Gadirov, K.V. (2018). Indicative features of local magnetic anomalies from hydrocarbon deposits: examples from Azerbaijan and Ukraine. *Acta Geophysica*, 66(6), 1463–1483.

Hurtado, A.C., Chiconato, D.A., de Mello Prado, R., Junior, G.D.S.S., Felisberto, G. (2019). Silicon attenuates sodium toxicity by improving nutritional efficiency in sorghum and sunflower plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 224–233.

Katz, O. (2019). Silicon content is a plant functional trait: implications in a changing world. *Flora*, 254, 88–94.

Khan, A., Kamran, M., Imran, M., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A., Al-Amri, I., ... & Khan, A. L. (2019). Silicon and salicylic acid confer high-pH stress tolerance in tomato seedlings. *Scientific Reports*, 9(1), 1–16.

Khmelovskiy, V., Rogach, S., Tonkha, O., Rosamaha, Y. (2019). Quality evaluation of mixing fodder by mobile combined units. *Engineering for Rural Development*, 18, 299–304.

- Landré, A., Cornu, S., Meunier, J. D., Guérin, A., Arrouays, D., Caubet, M., ... Saby, N. P. A. (2020). Do climate and land use affect the pool of total silicon concentration? A digital soil mapping approach of French topsoils. *Geoderma*, 364, 114–175.
- Lozynskiy, V., Mediany, V., Saik, P., Rysbekov, K., Demydov, M. (2020). Multivariate solutions for designing new levels of coal mines. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 35(2), 23–32. <https://doi.org/10.17794/rgn.2020.2.3>
- Mank, V., Tonkha, O., Galimova, V., Surovtsev, S., Menshov, O., Bukova, O., Rogovskiy, I. (2019). Electrochemical investigation of cobalt absorption processes by soils of Ukraine *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 86(3), 34–39.
- Menshov, O., Spassov, S., Camps, P., Vyzhva, S., Pereira, P., Pastushenko, T., Demidov, V. (2020). Soil and dust magnetism in semi-urban area Truskavets, Ukraine. *Environmental Earth Sciences*, 79, 1–10.
- Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Stud. Geophys. Geod.*, 62, 681–696.
- Paliyantsia, B., Kulik, T., Dudik, O., Cherniavska, T., Tonkha, O. (2014). Study of the thermal decomposition of some components of biomass by desorption mass spectrometry. *International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2013)*, Springer, Cham, 19–25.
- Ranjbar, S.S., Moteszarezhadeh, B., Moshiri, F., Hosseini, H.M., Alikhani, H.A. (2019). Silicon Utilization Efficiency of Different Wheat Cultivars in a Calcareous Soil. *Silicon*, 11(4), 2159–2168.
- Rios, J.J., Martínez-Ballesta, M.C., Ruiz, J.M., Blasco, B., Carvajal, M. (2017). Silicon-mediated improvement in plant salinity tolerance: the role of aquaporins. *Frontiers in plant science*, 8, 948.
- Tabachenko, M., Saik, P., Lozynskiy, V., Falshtynskiy, V., Dychkovskiy R. (2016). Features of setting up a complex, combined and zero-waste gasifier plant. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 37–45. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.03.037>
- 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*.
- References**
- Bobos, I., Zavadzka, O., Tonha, O., Olt, J., Fedosy, I. (2019). Optimization of plant densities of dolichos (dolichos lablab L. var. lignosus) bean in the Right-bank of Forest-steppe of Ukraine. *Agronomy Research*, 17(6), 2195–2202.
- Coskun, D., Britto, D.T., Huynh, W.Q., Kronzucker, H.J. (2016). The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1072.
- Dychkovskiy, R., Shavarskiy, I., Saik, P., Lozynskiy, V., Falshtynskiy, V., Cabana, E. (2020). Research into stress-strain state of the rock mass condition in the process of the operation of double-unit longwalls. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 85–94. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.085>
- Gadirov, V.G., Eppelbaum, L.V., Kuderavets, R.S., Menshov, O.I., Gadirov, K.V. (2018). Indicative features of local magnetic anomalies from hydrocarbon deposits: examples from Azerbaijan and Ukraine. *Acta Geophysica*, 66(6), 1463–1483.
- Hurtado, A.C., Chiconato, D.A., de Mello Prado, R., Junior, G.D.S.S., Felisberto, G. (2019). Silicon attenuates sodium toxicity by improving nutritional efficiency in sorghum and sunflower plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 224–233.
- Katz, O. (2019). Silicon content is a plant functional trait: implications in a changing world. *Flora*, 254, 88–94.
- Khan, A., Kamran, M., Imran, M., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A., Al-Amri, I., ... Khan, A. L. (2019). Silicon and salicylic acid confer high-pH stress tolerance in tomato seedlings. *Scientific Reports*, 9(1), 1–16.
- Khmelovskiy, V., Rogach, S., Tonkha, O., Rosamaha, Y. (2019). Quality evaluation of mixing fodder by mobile combined units. *Engineering for Rural Development*, 18, 299–304.
- Kruglov, O., Menshov, O., Ulko, E., Kucher, A., Nazarov, P. (2018). Soil erosion indication by magnetic methods in Kharkiv region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 82(3), 36–44. [in Ukrainian]
- Landré, A., Cornu, S., Meunier, J. D., Guérin, A., Arrouays, D., Caubet, M., ... Saby, N. P. A. (2020). Do climate and land use affect the pool of total silicon concentration? A digital soil mapping approach of French topsoils. *Geoderma*, 364, 114–175.
- Lozynskiy, V., Mediany, V., Saik, P., Rysbekov, K., Demydov, M. (2020). Multivariate solutions for designing new levels of coal mines. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 35(2), 23–32. <https://doi.org/10.17794/rgn.2020.2.3>
- Mank, V., Tonkha, O., Galimova, V., Surovtsev, S., Menshov, O., Bukova, O., Rogovskiy, I. (2019). Electrochemical investigation of cobalt absorption processes by soils of Ukraine *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 86(3), 34–39.
- Matychenko, V.V. (2008). The role of mobile silicon compounds in plants and the soil-plant system. *Extended abstract ... Doctor's thesis (Biol. Sci.)*. Pushchino. [in Russian]
- Menshov, O., Spassov, S., Camps, P., Vyzhva, S., Pereira, P., Pastushenko, T., & Demidov, V. (2020). Soil and dust magnetism in semi-urban area Truskavets, Ukraine. *Environmental Earth Sciences*, 79, 1–10.
- Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P. and Pastushenko, T. (2018) Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region Ukraine. *Stud. Geophys. Geod.*, 62, 681–696.
- Menshov O., Sukhorada A. (2017). Basic theory and methodology of soil geophysics: the first results of application. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 79(4), 35–39. [in Ukrainian]
- Menshov O., Kuderavets R., Popov S., Homenko R., Sukhorada A., Chobotok I. (2016). Thermomagnetic analyzes of soils from the hydrocarbon fields. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 73(2), 33–37. [in Ukrainian]
- Menshov, O.I. (2016). Magnetic method applying for the control of productive land degradation. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(4), 130–137. [in Ukrainian]
- Paliyantsia, B., Kulik, T., Dudik, O., Cherniavska, T., Tonkha, O. (2014). Study of the thermal decomposition of some components of biomass by desorption mass spectrometry. *International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2013)*, Springer, Cham, 19–25.
- Ranjbar, S.S., Moteszarezhadeh, B., Moshiri, F., Hosseini, H.M., Alikhani, H.A. (2019). Silicon Utilization Efficiency of Different Wheat Cultivars in a Calcareous Soil. *Silicon*, 11(4), 2159–2168.
- Rios, J.J., Martínez-Ballesta, M.C., Ruiz, J.M., Blasco, B., Carvajal, M. (2017). Silicon-mediated improvement in plant salinity tolerance: the role of aquaporins. *Frontiers in plant science*, 8, 948.
- Tabachenko, M., Saik, P., Lozynskiy, V., Falshtynskiy, V., Dychkovskiy, R. (2016). Features of setting up a complex, combined and zero-waste gasifier plant. *Mining of Mineral Deposits*, 10(3), 37–45. <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.03.037>
- Titova, V.I., Dabahova, E.V., Dabahov, M.V. (2011). Agro- and biochemical methods of investigation of agroecosystems stage. N. Novgorod, 73–84. (in Russian).
- Tonkha, O.L., Balayev, A.D., Pikovska, O.V. (2017). Formuvannya mikrobnogo kompleksu chornozemu rehradovanoho za riznykh system udobrennya. *Naukovyy visnyk NUBiP. Seriya Ahronomiya*, 269, 148–153. [in Ukrainian]
- 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*.

Надійшла до редколегії 25.05.20

О. Тонха¹, д-р с.-г. наук, проф.,
E-mail: oksana16095@gmail.com;

О. Бикова², зав. лаб.;

О. Піковська¹, канд. с.-г. наук, доц.;

І. Федосій¹, канд. с.-г. наук, доц.;

О. Меньшов³, д-р геол. наук, старш. наук. співроб.;

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

А. Шепель⁴, канд. с.-г. наук, доц.;

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв оборони, 17, Київ, 03041, Україна;

²ТОВ Лотівка-Еліт, Хмельницький, Україна;

³Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут Геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна,

⁴Херсонський державний аграрний університет, Херсон, Україна

ВМІСТ КРЕМНІЮ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Кремній відіграє важливу роль у рості й розвитку рослин, їхньої стійкості до стресових умов. Однак дослідження вмісту різних форм кремнію в ґрунтах, їхнього взаємозв'язку з катіонами ґрунтів обмежені, що особливо актуально в контексті інтенсивного сільськогосподарства та аридизації клімату в Україні. Метою представлено дослідження було визначення вмісту сполук кремнію різної рухомості в орних ґрунтах Хмельницької області, ідентифікація просторових змін цих параметрів, а також виявлення залежності між вмістом сполук кремнію і розміром частинок ґрунту. Дослідження проводилося на ділянці ТОВ "Лотівка Еліт" Шепетівського району Хмельницької області в польовій сівоозміні. Для зразків ґрунту були визначені: розподіл часток за розмірами, вміст фракцій різного гранулометричного складу для різних елементів, рН екстракції солі (1,0 М розчин KCl), вміст гумусу, кальцій і магній обмінних сполук при екстракції 1,0 М розчину KCl. Результати показали, що вміст сполук кремнію в ґрунтах залежить від гранулометричного складу, величини обмінної кислотності, вмісту гумусу і складу обмінних катіонів. У ґрунті кремній, екстрагований 0,1 М HCl, залежить від особливостей мікрорельєфу, може бути індикатором накопичувальних та ерозійних процесів і є параметром, який змінюється інтенсивніше порівняно з гранулометричним складом і вмістом катіонів обмінного кальцію і магнію.

Ключові слова: кремній, катіони ґрунтів, реакція ґрунтів, обмінні катіони, текстура ґрунтів.

О. Тонха¹, д-р с.-х. наук, проф.,

E-mail: oksana16095@gmail.com;

О. Быкова², зав. лаб.;

Е. Пиковская¹, канд. с.-х. наук, доц.;

И. Федосий¹, канд. с.-х. наук, доц.;

А. Меньшов³, д-р геол. наук, ст. науч. сотр.,

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

А. Шепель⁴, канд. с.-х. наук, доц.;

¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,

ул. Героев обороны, 17, Киев, 03041, Украина;

²ТОВ Лотовка-Елит, Хмельницкий, Украина;

³Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

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

⁴Херсонский государственный аграрный университет, Херсон, Украина

СОДЕРЖАНИЕ КРЕМНИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ХМЕЛЬНИЦКОЙ ОБЛАСТИ УКРАИНЫ

Кремний играет важную роль в росте и развитии растений, их устойчивости к стрессовым условиям. Однако исследования содержания различных форм кремния в почвах, их взаимосвязи с катионами почв ограничены, что особенно актуально в контексте интенсивного сельского хозяйства и аридизации климата в Украине. Целью настоящего исследования было определение содержания соединений кремния различной подвижности в пахотных почвах Хмельницкой области, пространственное изменение этих параметров, а также выявление зависимости между содержанием соединений кремния и размером частиц почвы. Исследование проводилось на участке ООО "Лотовка Элит" Шепетовского района Хмельницкой области в полевом севообороте. Для образцов почвы были определены: распределение частиц по размерам, содержание фракций разного гранулометрического состава для различных элементов, pH экстракции соли (1,0 М раствор KCl), содержание гумуса, кальция и магний обменных соединений при экстракции 1,0 М раствора KCl. Результаты показали, что содержание соединений кремния в почвах зависит от гранулометрического состава почвы, величины обменной кислотности, содержания гумуса и состава обменных катионов. В почве кремний, экстрагированный 0,1 М HCl, зависит от особенностей микрорельефа, может быть индикатором накопительных и эрозионных процессов и является параметром, который изменяется более интенсивно по сравнению с гранулометрическим составом и содержанием катионов обменного кальция и магния.

Ключевые слова: кремний, катионы почвы, реакция почвы, обменные катионы, текстура почвы.

УДК 626.862:628.1

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.13>

В. Левицька, асп.,

E-mail: veral@ukr.net,

ORCID iD 0000-0003-2213-1696;

П. Хоружий, д-р техн. наук, проф., голов. наук. співроб.,

E-mail: petro1939@bigmir.net,

ORCID iD 0000-0002-9433-361X

Інститут водних проблем і меліорації НААН,
вул. Васильківська, 37, Київ-22, Україна

ВЗАЄМОДІЯ ДРЕНАЖНИХ СВЕРДЛОВИН У ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНИХ ЗАВІСАХ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, старш. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Проаналізовано зниження рівнів води в дренажних свердловинах берегової протифільтраційної завіси при сифонному способі водовідбору з них. Розглянуто взаємодію водопонижувальних свердловин з різними глибинами та розташованих на перемінних відстанях одна від одної, що дає змогу забезпечити рівномірне водовідведення з кожної свердловини та досягти сталого зниження рівня ґрунтових вод по всій довжині протифільтраційної завіси (на прикладі захисту від підтоплення лівобережних територій Каховського водосховища). Наведено результати виконаних аналітичних досліджень. На прикладі Кам'янка-Дніпровської протифільтраційної завіси показано, що зниження рівнів води у свердловинах, за однакових витрат з кожної відкачуваної води, залежать від їхньої гідравлічної взаємодії, гідрогеологічних умов фільтрування води з водоносного пласта та відстані протифільтраційної завіси від урізу води у водосховищі.

Одержані результати свідчать, що найбільший рівень водозниження берегової вертикальної протифільтраційної завіси із сифонним способом водовідведення із свердловин досягається на відстані ряду свердловин від урізу води Каховського водосховища $a = 100$ м, за однакових витрат води з кожної із дренажних свердловин ($Q = 604,8$ м³/добу), розташованих на різних відстанях одна від одної. Найвищий показник додаткового зниження води, одержаного через взаємний гідравлічний вплив, отримано в 7-й свердловині, глибиною 14,9 м, розташований на відстані 100 м від 6-ї свердловини та на відстані 110 м від 8-ї свердловини. Найнижчий показник рівня зниження ґрунтових вод за різних показників відстані ряду дренажних свердловин до врізу води a (30, 50, 80, 100 м) спостерігається в найвіддаленішій від водозбірного колодязя першій свердловині.

Ключові слова: протифільтраційна завіса, дренажна свердловина, сифонний водовід, витрати води, водоносний горизонт, Каховське водосховище, зниження рівнів води.

Постановка проблеми. Для захисту територій від підтоплення з водосховищ Дніпровського каскаду застосовуються дренажні системи у вигляді лінійного ряду вертикальних свердловин з відборами води з них різними способами, що створює протифільтраційну завісу (ПФЗ), економічність і надійність якої залежить в основному від способу піднімання води на поверхню землі та транспортування її до водозбірного колодязя. Наші дослідження (Хоружий і Левицька, 2016, 2017; Левицька і Хоружий, 2019; Вертикальний дренаж..., 2019) показали, що одним з ефективних методів забору та відведення води з дренажних свердловин є застосування вакуумного сифонного методу з різними глибинами дренажних свердловин і перемінними відстанями між ними,

що забезпечує приблизно однакову витрату води з кожної свердловини, тобто більш рівномірне зниження рівня ґрунтових вод по всій довжині ПФЗ.

Проте гідрогеологічні розрахунки берегових дренажних свердловин, що забирають воду з водоносного горизонту, розташованого у підпорі від водосховища, мають свою специфіку, яка полягає в тому, що продуктивність дренажних свердловин визначається обсягами фільтраційних витрат з водосховища і залежить від відстані a (рис. 1) ряду дренажних свердловин від урізу води у водосховищі та від фільтраційних характеристик ґрунтів (Пояснювальна записка..., 2016).

Тому при гідрогеологічних розрахунках дренажних свердловин треба враховувати ці особливості.

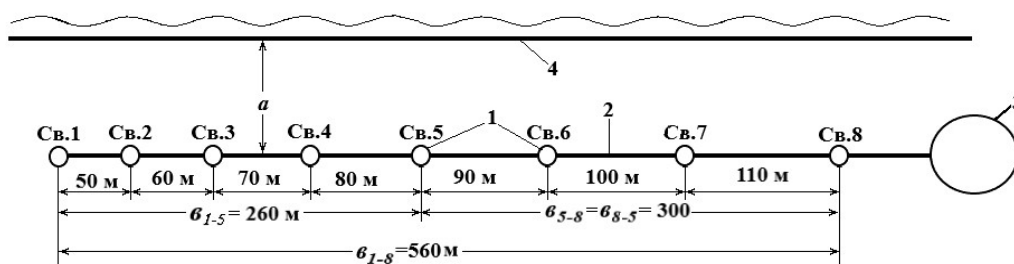


Рис. 1. Схема розташування дренажних свердловин із сифонним збірним водоводом ПФЗ від підтоплення територій з водосховища:

- 1 – дренажні свердловини; 2 – сифонний збірний водовід; 3 – водоприймальний колодязь;
4 – берег водосховища; a – відстані дренажних свердловин від урізу води у водосховищі;
 b – відстані кожної свердловини від даної (розглянутої) свердловини

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При виборі методики розрахунків було досліджено відповідну літературу (Абрамов і др., 1960; Абрамов, 1961; Басниев, 1986; Биндеман, Язвин, 1970; Бочевєр, 1969; Гальперин і др., 2009; Ломакин і др., 1988; Лукнер і Шестаков, 1986; Методы фильтционных расчетов..., 1970; Никитин, 1990; Олейник, 1978; Олейник і Поляков, 1987; Основы гидрогеологических расчетов, 1969; Пособие по проектированию..., 1989; Романов, 1959; Чайдс, 1973; Шестаков, 1965; Шкинкус, 1981; Эггельсман, 1984; Чарпан, 1980) При виконанні гідрогеологічних розрахун-

ків дренажних свердловин у ПФЗ від підтоплення території із водосховища зазначені вище автори рекомендують урахувати існуючі гідрогеологічні умови припливу води до свердловин з урахуванням їхньої гідравлічної взаємодії, що залежать від відстаней свердловин між собою та відстані до врізу води у водосховищі.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Проблема відведення фільтраційних вод Каховського водосховища залишається актуальною, оскільки рівень води у водосховищі був піднятий на 11 м у створі м. Нікополь – Кам'янка-Дніпровська. Води водо-

сховища через активну фільтрацію крізь тіло дамби й обхідну фільтрацію постійно підживлюють ґрунтові води, особливо Лівобережжя. Діюча ПФЗ з ерліфтною системою водовідведення на даній території малоефективна, оскільки фільтраційні води насичені розчинними формами заліза, які після взаємодії з киснем повітря, що нагнітається компресорними станціями до ерліфтних установок, утворюють нерозчинний осад, який колюмає фільтрові зони свердловин, підвищуючи гідрологічний опір, що призводить до зростання рівнів ґрунтових вод на зазначеній території. Розв'язанню проблеми підвищення ефективності Кам'янської ПФЗ шляхом удосконалення фільтрувального завантаження займався В.Д. Крученко. Проте новий спосіб не став широко використовуватися через складність дотримання нової технології. Нами запропоновано альтернативний сифонний спосіб водовідведення за допомогою вакууму.

Формулювання цілей статті. Метою аналітичних досліджень дренажних свердловин було встановлення характеру гідравлічного зв'язку між ними і впливу одна на одну при відкачуванні води з водоносного горизонту алювіальних відкладів, що живиться від відкритої водойми.

Водовмісними породами водоносного горизонту є піски, у нижній частині розрізу присутні гальки, лінзи супісків і суглинків із вкрапленнями залізовмісних порід. Глибина залягання шару коливається в межах від часток метра в заплаві ріки до 7–8 м. Водопором алювіального водоносного шару є зеленувато-сірі глини харківської світи палеогену. Горизонт безнапірний. Джерелом живлення горизонту є атмосферні опади і підтік ґрунтових вод з боку берега. (Пояснювальна записка..., 2016). Водовмісними породами водоносного горизонту сарматського ярусу неогену є дрібнозерністі піски. Водопором цього горизонту є глини сарматського періоду. Горизонт слабонапірний. Живлення горизонту відбувається через міграцію з вищих горизонтів інфільтрації атмосферних опадів і поверхневих вод по балках і терасах, де відклади залягають близько до поверхні. Глибина водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід залежить від рельєфу місцевості та гіпсометрії кристалічного фундаменту. Геолого-літологічний розріз м. Кам'янка-Дніпровська показано на рис. 2, де показано рівень ґрунтових вод при роботі ПФЗ.

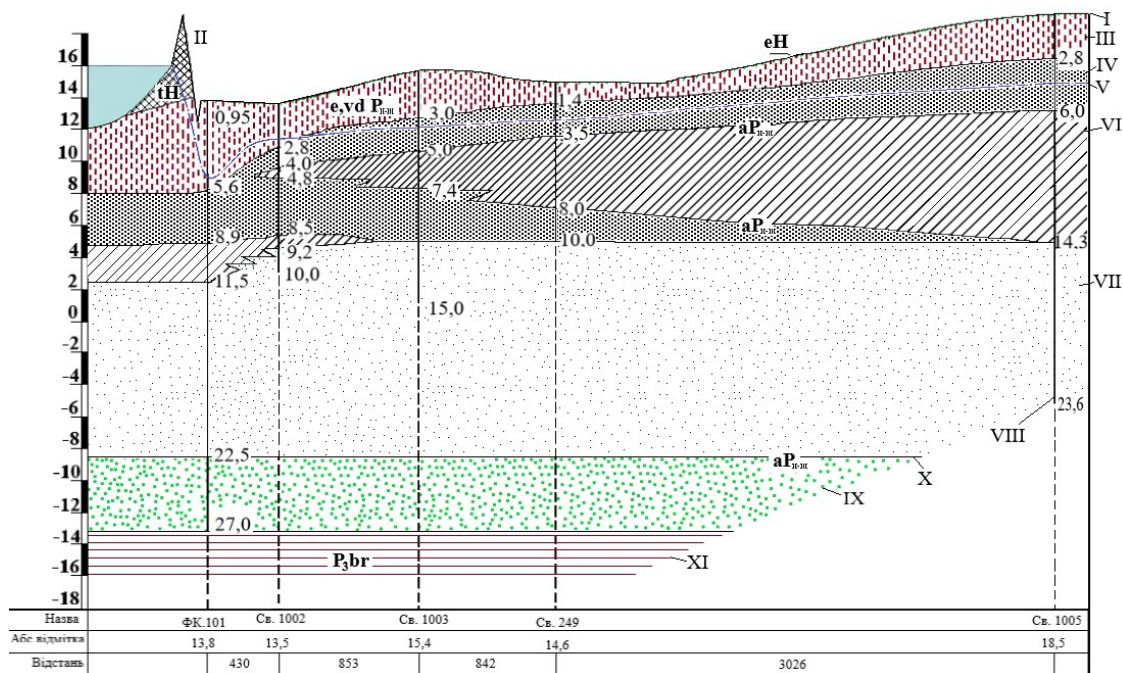


Рис. 2. Геолого-літологічний розріз території м. Кам'янка-Дніпровська:

- I – ґрунтово-рослинний шар; II – насипний ґрунт; III – лесоподібні суглинки; IV – пісок пилюватий та дрібнозернистий, жовтий і жовто-сірий; V – рівень ґрунтових вод (за умов дії протифільтраційної завіси); VI – суглинок сірий із плямами озалізнення; VII – пісок різнозернистий, сірий; VIII – свердловина, пісок; IX – пісок різнозернистий, сірий з гравієм; X – літологічні межі; XI – глина зеленувато-сіра, щільна; eH – сучасні елювіальні відклади; tH – сучасні техногенні відклади, e, vd P_{III-IV} – верхньочетвертинні елювіальні, еолово-делювіальні відклади; aP_{II-III} – середньовисхідночетвертинні алювіальні відклади; P_{3br} – глини берекської світи олігоцену у складі полтавської серії

На прикладі Кам'янка-Дніпровської ПФЗ досліджувались дренажні свердловини із сифонним водовідбором і відстанями, що збільшуються у напрямку до водоприймального колодязя, та глибинами цих свердловин, які послідовно зменшуються у цьому напрямку (рис. 1). Дослідження спрямовані на забезпечення водозниження за стобільно однакової витрати води з кожної свердловини за різних величин всмоктуючого тиску в них, який зростає в напрямку від кінцевої свердловини на шляху сифонного збірного водоводу і до водоприймального колодязя.

При аналітичних розрахунках дренажних свердловин вивчався гідрогеологічний зв'язок як між усіма свердловинами, так і з Каховським водосховищем, і встановлювалися залежності зниження води у водосховищі.

Дія гідравлічно взаємодіючих дренажних свердловин зниження води в кожній свердловині визначається за формулою

$$S_{\text{сум}} = S_0 + \sum_{i=1}^{n-1} S_i, \text{ м}, \quad (1)$$

де S_0 – зниження рівня води в даній конкретній свердловині при відкачуванні витрат Q_0 ; S_i – додаткові зниження рівня води в цій свердловині внаслідок гідравлічної взаємодії від решти з $n-1$ дренажних свердловин при відкачуванні з них води витратою Q_i .

При відкачуванні з дренажної свердловини із сифонним водовідбором витратою Q_0 зниження рівня води в ній визначається за формулою

$$S_0 = \frac{Q_0}{2\pi K_\phi H_0} R_0, \text{ м}, \quad (2)$$

де Q_0 – витрата води з даної свердловини, м³/добу; K_ϕ – коефіцієнт фільтрації водоносного пласта, м/добу; H_0 – глибина рівня води в даній свердловині при відкачуванні з неї води витратою Q_0 , м; R_0 – безрозмірний коефіцієнт гідралічного опору для даної свердловини, що залежить від її відстані до врізу води у водосховищі (рис. 1) і визначається за формулою

$$R_0 = \ln \left(\frac{2a}{r_0} \right), \quad (3)$$

де a – відстань свердловин до врізу води у водосховищі, м; r_0 – радіус даної дренажної свердловини, м.

Значення S_i у формулі (1) залежать від відстані даної свердловини до решти гідралічно взаємодіючих дренажних свердловин і визначаються за формулою (2), а параметри Q_0 , H_0 та R_0 матимуть нижній індекс i .

R_i – коефіцієнт гідралічного опору, що враховує вплив i -ї свердловини при відкачуванні з неї води витратою Q_i на додаткове зниження рівня води у свердловині, визначається за формулою

$$R_i = \ln \frac{\sqrt{4a^2 + b_{i-0}^2}}{b_{i-0}}, \quad (4)$$

де b_{i-0} – відстань i -ї дренажної свердловини до розрахункової дренажної свердловини з індексом 0, м; a – відстань ряду свердловин завсі до врізу води.

Виклад основного матеріалу дослідження. Результати досліджень. Вихідні дані для проведення досліджень були взяті з нашої роботи (Левецька, Хоружий, 2019) і наведені в табл. 1.

Наведені глибини свердловин $H_{св,i}$ і відстані між ними l_i (табл. 1) визначались з економічних міркувань для забезпечення розрахункового зниження ґрунтових вод при максимальній довжині ПФЗ і сифонному способі відбору води із свердловин. При цьому величина всмоктувального тиску в кожній (k -й) свердловині має відповідати вимозі

$$H_{вак,k} = H_{вак,1} + \sum_1^k h_i < H_{вак,доп.}, \text{ м}, \quad (6)$$

де $H_{вак,1}$ – величина всмоктувального тиску в першій найбільш віддаленій від водозбірного колодязя дренажній свердловині (було взято – 2,5 м); $\sum_1^k h_i$ – сума втрат

напору в сифонному водоводі від першої до k -ї свердловини; $H_{вак,доп.}$ – допустимий максимум величини всмоктувального тиску в найвищій точці сифонного водоводу (було взято – 8 м).

Глибина води у свердловині визначалась за формулою

$$H_i = H_{св,i} - H_{вак,i}, \text{ м}, \quad (7)$$

а водопровідність, що характеризує умови надходження води з водоносного пласта до свердловини, за формулою

$$T_i = K_\phi H_i, \text{ м}^2/\text{добу}, \quad (8)$$

де K_ϕ – коефіцієнт фільтрації водоносного пласта, м/добу (брали $K_\phi = 10$ м/добу згідно з (Пояснювальна записка..., 2016); у табл. 2 наведено значення відстаней кожної дренажної свердловини до всіх інших дренажних свердловин у даній ПФЗ.

Таблиця 1

Розрахункові параметри ПФЗ із сифонним водовідбором

№	Глибина свердловини $H_{св,i}$, м	Величина всмоктувального тиску $H_{вак,i}$, м	Глибина рівня води H_i , м	Водопровідність T_i , м ² /добу	№ ділянки водоводу	Відстань між свердловинами l_i , м
1	32,1	2,5	29,6	296		
2	27,8	2,92	24,88	248,8	1–2	50
3	25,1	3,28	21,82	218,2	2–3	60
4	20,3	4,23	16,07	160,7	3–4	70
5	18,9	4,67	14,23	142,3	4–5	80
6	16,9	5,43	11,47	114,7	5–6	90
7	14,9	6,66	8,24	82,4	6–7	100
8	14,3	7,24	7,06	70,6	7–8	110

Таблиця 2

Відстані кожної дренажної свердловини до всіх інших дренажних свердловин ПФЗ

№ розрахункової свердловини	Відстань до розрахункової свердловини (b_{i-0})							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,1	50	110	180	260	350	450	560
2	50	0,1	60	130	210	300	400	510
3	110	60	0,1	70	150	240	340	450
4	180	130	70	0,1	80	170	270	380
5	260	210	150	80	0,1	90	190	300
6	350	300	240	170	90	0,1	100	210
7	450	400	340	270	190	100	0,1	110
8	560	510	450	380	300	210	110	0,1

Для кожної розрахункової свердловини відстань b_0 приймалась рівною радіусу свердловини

$$b_0 = r_0 = d_{св}/2, \text{ м}, \quad (9)$$

де $d_{св} = 0,2$ м – діаметр свердловини, а значення b_{i-0} обчислювались за формулою

$$b_{k-0} = \sum_1^k l_i, \text{ м}, \quad (10)$$

де l_i – довжини ділянок водоводу між k -ю і розрахунковою свердловинами.

У табл. 3 наведено результати обчислень коефіцієнтів гідралічного опору дренажних свердловин залежно від місця їхнього розташування відносно одна одної та відстані до врізу води у водосховищі а.

Розрахункова глибина свердловин H_i залежить від величини всмоктувального тиску в ній $H_{вак,i}$, який визначається у напрямку віддаленості від водоприймального водозбірного колодязя (рис. 1).

Можлива кількість дренажних свердловин n і оптимальні відстані між ними l визначаються на основі гідралічних і техніко-економічних розрахунків (Левецька, Хоружий, 2019).

Згідно з формулою (2) було розраховано зниження рівня води в дренажних свердловинах при відкачуванні з них води витратою $Q = 604,8 \text{ м}^3/\text{добу}$ (Левицька, Хоружий, 2019) та сумарне водозниження (табл. 4) залежно від віддалення свердловин від урізу води з урахуванням різних глибин свердловин і відстаней між ними.

Згідно з розрахунками, наведеними в табл. 4, створено схему зміни рівнів води в дренажних свердловинах (рис. 3), де показано рівень сумарного водозниження для свердловин 1–8, які мають різні глибини (табл. 1), різні відстані між собою (табл. 2) та розташовані на відстані від урізу води $a_1 = 30 \text{ м}$, $a_2 = 50 \text{ м}$, $a_3 = 80 \text{ м}$ і $a_4 = 100 \text{ м}$.

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів гідралічного опору дренажних свердловин R
за різних відстаней ПФЗ від урізу води у водосховищі a

№ розрахункової свердловини	Величина $a, \text{ м}$	Значення для дренажних свердловин							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	30	6,397	0,446	0,130	0,053	0,026	0,014	0,009	0,006
	50	6,908	0,805	0,301	0,134	0,069	0,039	0,024	0,016
	80	7,378	1,210	0,568	0,291	0,161	0,095	0,060	0,039
	100	7,601	1,417	0,730	0,402	0,232	0,141	0,090	0,060
2	30	0,446	6,397	0,347	0,097	0,039	0,020	0,011	0,007
	50	0,805	6,908	0,665	0,232	0,102	0,053	0,030	0,019
	80	1,210	7,378	1,047	0,461	0,229	0,125	0,074	0,047
	100	1,417	7,601	1,247	0,607	0,323	0,184	0,112	0,072
3	30	0,130	0,347	6,397	0,275	0,074	0,030	0,015	0,009
	50	0,301	0,665	6,908	0,556	0,184	0,080	0,041	0,024
	80	0,568	1,047	7,378	0,914	0,380	0,184	0,100	0,060
	100	0,730	1,247	7,601	1,108	0,511	0,264	0,149	0,090
4	30	0,053	0,097	0,275	6,397	0,223	0,059	0,024	0,012
	50	0,134	0,232	0,556	6,908	0,470	0,149	0,064	0,033
	80	0,291	0,461	0,914	7,378	0,805	0,317	0,150	0,082
	100	0,402	0,607	1,108	7,601	0,991	0,434	0,219	0,122
5	30	0,026	0,039	0,074	0,223	6,397	0,184	0,048	0,020
	50	0,069	0,102	0,184	0,470	6,908	0,402	0,122	0,053
	80	0,161	0,229	0,380	0,805	7,378	0,713	0,268	0,125
	100	0,232	0,323	0,511	0,991	7,601	0,891	0,373	0,184
6	30	0,014	0,020	0,030	0,059	0,184	6,397	0,154	0,039
	50	0,039	0,053	0,080	0,149	0,402	6,908	0,347	0,102
	80	0,095	0,125	0,184	0,317	0,713	7,378	0,635	0,229
	100	0,141	0,184	0,264	0,434	0,891	7,601	0,805	0,323
7	30	0,009	0,011	0,015	0,024	0,048	0,154	6,397	0,130
	50	0,024	0,030	0,041	0,064	0,122	0,347	6,908	0,301
	80	0,060	0,074	0,100	0,150	0,268	0,635	7,378	0,568
	100	0,090	0,112	0,149	0,219	0,373	0,805	7,601	0,730
8	30	0,019	0,007	0,009	0,012	0,020	0,039	0,130	6,397
	50	0,016	0,019	0,024	0,033	0,053	0,102	0,301	6,908
	80	0,039	0,047	0,060	0,082	0,125	0,229	0,568	7,378
	100	0,060	0,072	0,090	0,122	0,184	0,323	0,730	7,601

Таблиця 4

Зниження рівнів води у дренажних свердловинах при відкачуванні з них води витратою $Q = 604,8 \text{ м}^3/\text{добу}$

№ св.	$a, \text{ м}$	Зниження води в дренажних свердловинах								$S_{\text{сум.}}, \text{ м}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	30	1,919	0,155	0,050	0,025	0,013	0,008	0,006	0,004	2,18
	50	2,072	0,279	0,116	0,064	0,035	0,022	0,016	0,011	2,61
	80	2,213	0,419	0,218	0,138	0,082	0,054	0,038	0,026	3,19
	100	2,280	0,491	0,280	0,191	0,118	0,081	0,058	0,040	3,54
2	30	0,134	2,216	0,133	0,046	0,020	0,011	0,007	0,005	2,57
	50	0,241	2,393	0,255	0,110	0,052	0,030	0,020	0,013	3,11
	80	0,363	2,556	0,402	0,219	0,117	0,071	0,048	0,032	3,81
	100	0,425	2,633	0,478	0,288	0,164	0,105	0,072	0,048	4,21
3	30	0,039	0,120	2,454	0,131	0,038	0,017	0,010	0,006	2,82
	50	0,090	0,230	2,650	0,264	0,094	0,046	0,027	0,016	3,42
	80	0,170	0,363	2,831	0,434	0,194	0,105	0,065	0,040	4,20
	100	0,219	0,432	2,916	0,525	0,260	0,150	0,096	0,061	4,66
4	30	0,016	0,033	0,106	3,035	0,114	0,033	0,016	0,008	3,36
	50	0,040	0,081	0,213	3,277	0,240	0,085	0,042	0,023	4,00
	80	0,087	0,160	0,351	3,500	0,410	0,181	0,097	0,055	4,84
	100	0,121	0,210	0,425	3,606	0,505	0,248	0,141	0,082	5,34
5	30	0,008	0,014	0,028	0,106	3,260	0,105	0,031	0,013	3,56
	50	0,021	0,035	0,071	0,223	3,520	0,229	0,079	0,035	4,21
	80	0,048	0,079	0,146	0,382	3,759	0,406	0,173	0,084	5,08
	100	0,070	0,112	0,196	0,470	3,873	0,508	0,241	0,124	5,59
6	30	0,004	0,007	0,012	0,028	0,094	3,645	0,099	0,026	3,92
	50	0,012	0,018	0,031	0,070	0,205	3,936	0,224	0,069	4,57
	80	0,028	0,043	0,071	0,150	0,363	4,204	0,410	0,154	5,42
	100	0,042	0,064	0,101	0,206	0,454	4,331	0,520	0,217	5,94

Закінчення табл. 4

№ св.	a, м	Зниження води в дренажних свердловинах								S _{сум.} , м
		1	2	3	4	5	6	7	8	
7	30	0,003	0,004	0,006	0,011	0,024	0,088	4,135	0,088	4,36
	50	0,007	0,011	0,016	0,030	0,062	0,197	4,465	0,203	4,99
	80	0,018	0,026	0,038	0,071	0,137	0,362	4,769	0,383	5,80
	100	0,027	0,039	0,057	0,104	0,190	0,459	4,913	0,492	6,28
8	30	0,006	0,002	0,003	0,006	0,010	0,022	0,084	4,308	4,44
	50	0,005	0,007	0,009	0,016	0,027	0,058	0,195	4,652	4,97
	80	0,012	0,016	0,023	0,039	0,064	0,130	0,367	4,969	5,62
	100	0,018	0,025	0,035	0,058	0,094	0,184	0,472	5,119	6,00

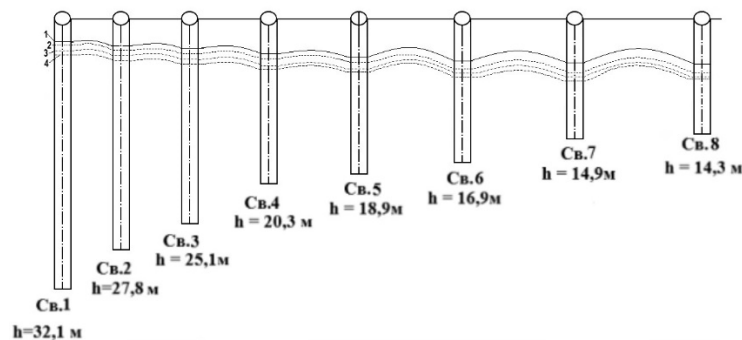


Рис. 3. Схема зміни рівнів води в дренажних свердловинах при змінах їхніх відстаней від урізу води у водосховищі:
1 – a = 30 м; 2 – a = 50 м; 3 – a = 80 м; 4 – a = 100 м

При аналізі водозниження (рис. 3) видно, що найвищі розрахункові показники сумарного водозниження отримано на відстані $a_4 = 100$ м від урізу води, які сягають від 3,54 м у найвіддаленішій першій свердловині глибиною 32,1 м, до 6,28 м у сьомій, глибиною 14,9 м, розташованій на відстані 100 м до 6-ї свердловини та 110 м від 8-ї. Отже, сьома свердловина, згідно з отриманими результатами розрахунків, матиме найкращі показники гідралічного впливу від сусідніх свердловин для гідрогеологічних умов, притаманних Кам'янському Поду.

Висновки. У результаті проведених досліджень виявлено, що найкращі показники водозниження для гідрогеологічних умов Кам'янського Поду досягаються при розташуванні ПФЗ на відстані $a = 100$ м від урізу води. При розташуванні ПФЗ на відстані 30 м рівень водозниження при витраті води $Q = 604,8$ м³/добу з кожної свердловини зовсім незначний і не може відповідати вимогам рівня водозниження. При зростанні віддалення ПФЗ від урізу води коефіцієнти гідралічного опору дренажних свердловин R зменшуються, що дозволяє зменшити витрати води при відкачуванні для зниження її рівня. Проте територія, що лежить між урізом води до лінії розміщення ПФЗ, не може використовуватись, оскільки рівень ґрунтових вод буде недопустимо високим. Таким чином розкрита тема може далі досліджуватись з точки зору обґрунтування доцільності збільшення або зменшення відстані від урізу води до ПФЗ.

Нами запропоновано використання фільтраційних вод після відповідної підготовки для задоволення санітарно-гігієнічних і господарсько-побутових потреб місцевих мешканців, а також для зрошення сільгоспкультур у вегетаційний період.

Список використаних джерел

- Абрамов, С.К., Биндеман, Н.Н., Боचेвер, Ф.М., Веригин, Н.Н. (1960). Влияние водохранилищ на гидрогеологические условия прилегающих территорий. М. : Госстройиздат.
- Абрамов, С.К. (1961). Защита территорий от затопления и подтопления. М. : Басниев, К.С. (1986). Подземная гидравлика. М. : Недра.
- Биндеман, Н.И., Язвин, Л.С. (1970). Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. Методическое руководство. М. : Недра.
- Боचेвер, Ф.Н. (1969). Основы гидрогеологических расчетов. М. : ВОДГЕО.
- Васильев, С.В. и др. (1970). Методы фильтрационных расчетов гидро-мелиоративных систем. М. : Колос.

Вертикальний дренаж із сифонним водовідбором зі свердловин. (2019). Пат. №132266, Україна у 201806279 заяв. 05.06.2018. Опубл. бюл. № 4, 25.02.2019.

Гальперин, А.М., Зайцев, В.С., Харитоненко, Г.Н., Норватов, Ю.А. (2009). Геология: учебник для вузов. М. : Из-во МГТУ "Мир горной книги".

Левицька, В.Д. (2018). Аналіз існуючого стану захисту територій від підтоплення з Каховського водосховища. *Меліорація і водне господарство*, 2, 110–117. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg20180108-135>

Левицька, В.Д., Хоружий, П.Д. (2019). Оптимізація протифільтраційних завіс із сифонним водовідбором з дренажних свердловин (на прикладі Кам'янка-Дніпровської протифільтраційної завіси). *Меліорація і водне господарство*, 1, 117–124. ISSN 2616-5562 (Online), ISSN 2616-5643 (Print). DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201901-156>.

Ломакін, В.А., МIRONENKO, В.А., Шестаков, В.М. (1988). Численное моделирование геофильтрации. М. : Недра.

Лукнер, Л., Шестаков, В.М. (1986). Моделирование миграции подземных вод. М. : Недра.

Никитин, М.Р. (1990). Оценка влияния водохранилищ на гидрогеологические условия. М. : Наука.

Олейник, А.Я. (1978). Фильтрационные расчеты вертикального дренажа. К. : Наук. думка, 202 с.

Олейник А.Я., Поляков, В.Л. (1987). Дренаж переувлажненных земель. К. : Наук. думка.

Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84). (1989). ВНИИ Водгео Госстроя СССР. М. : Стройиздат.

Пояснювальна записка. (2016). Реконструкція Кам'янської та Знам'янської компресорних станцій для захисту від підтоплення Кам'янка-Дніпровського району Запорізької області. Коригування. Т. 1. Держвадогенство Дніпропетровськ : ДРПВІ Дніпродіпровадгосп.

Романов, А.В. (1959). Методы фильтрационных расчетов дренажных сооружений. Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений. М. : Госстройиздат.

Хоружий, П.Д., Левицька, В.Д. (2016). Шляхи покращення роботи комплексу захисних споруд Кам'янського Поду. *Меліорація і водне господарство*, 104, 119–125.

Хоружий, П.Д., Левицька, В.Д. (2017). Методика розрахунку вертикальних дренажів із сифонним водовідбором інфільтраційних вод. *Меліорація і водне господарство*, 106, 102–108.

Чайлдс, Э. (1973). Физические основы гидрологии почв. Л. : Гидрометеоздат.

Шестаков, В.М. (1965). Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М. : МГУ.

Шкински, В.И. (1981). Гидрологическое действие дренажа. Л. : Гидрометеоздат.

Эггельсман, Р. (1984). Руководство по дренажу. М. : Колос.

Chapman, T.G. (1980). Modeling groundwater flow over sloping beds. *Water Resource research*, 16, 6, 1114-1118. <https://doi.org/10.1029/WR016i006p01114>.

Vázquez-Báez, V., Rubio-Arellano, A., García-Toral, D., Rodríguez Mora, I. (2019). Modeling an Aquifer: Numerical Solution to the Groundwater Flow Equation. *Mathematical Problems in Engineering Volume*, Article ID 1613726, 9.

References

- Abramov, S.K., Bideman, N.N., Bochever, F.M., Veryhin, N.N. (1960). Vliyaniye vodokhranilishtch na hidroecologicheskiye usloviya prilgayushchikh territoriy. Moskva: Hosstroyizdat. [in Russian]

- Abramov, S.K. (1961). Zashchita territoriy ot zatopeniya i podtopleniya. Moskva. [in Russian]
- Basniyev, K.S. (1986). Podzemnaya hidravlika. Moskva: Nedra. [in Russian]
- Bindeman, N.I., Yazvin, L.S. (1970). Otsenka ekspluatatsionnykh zapassov podzemnykh vod. Metodicheskoe rukovodstvo. Moskva: Nedra. [in Russian]
- Bochever, F.M. (1969). Osnoby hidrogeologicheskikh raschetov. Moskva: Vodgeo. [in Russian]
- Chapman, T.G. (1980). Modeling groundwater flow over sloping beds. *Water Resource research*, 16, 6, 1114-1118. <https://doi.org/10.1029/WR016i006p01114>
- Chaylds, E. (1973). Fisicheskoye osnovy hidravliki pochv. Leningrad: Hidrometeoizdat. [in Russian]
- Eggelsman, R. (1984). Rukovodstvo po drenaghu. Moskva: Kolos. [in Russian]
- Halperin, A.M., Zaytsev, V.S., Kharitonenko, H.N., Norvatov, Yu.A. (2009). Geologiya: uchebnik dla vuzov. Moskva: Izdatelstvo: MGGU. [in Russian]
- Khorughy, P.D., Levitska, V.D. (2016). Ways to improve the operation of the protection facilities complex of Kamyansky Pod. *Land reclamation and water management*, 104, 119–125. ISSN 0507-2166. [in Ukrainian]
- Khorughy, P.D., Levitska, V.D. (2017). The method of calculation of vertical drain performance when using siphon drains for infiltration water intake. *Land reclamation and water management*, 106, 102–108. ISSN 0507-2166. [in Ukrainian]
- Levytska, V.D. (2018). Analysis of the existing state of current protection of the surrounding territories to the Kakhovske reservoir territories against flooding. *Land reclamation and water management*, 2, 110–117. ISSN 2616-5562 (Online), ISSN 2616-5643 (Print). DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201901-156>. [in Ukrainian]
- Levytska, V.D., Khorughy, P.D. (2019). Optimization of ground water cutoff with a siphon intake from the bank-side. (as in the case of Kamyanka-Dniprovsk ground water cutoff). *Land reclamation and water management*, 1, 117–124. ISSN 2616-5562 (Online), ISSN 2616-5643 (Print). DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201901-156>. [in Ukrainian]
- Lomakin, V.A., Myronenko, V.A., Shestakov, V.M. (1988). Chislenoye modelirovaniye geofiltratsii. Moskva: Nedra. [in Russian]
- Lukner, L. Shestakov, V.M. (1986). Modelirovaniye migratsii podzemnykh vod. Moskva : Nedra. [in Russian]
- Nikitin, M.R. (1990). Otsenka vliyaniya vodokhranilishch na hidrogeologicheskiye usloviya. Moskva: Nauka. [in Russian]
- Oleynik, A.Ya. (1978). Filtratsionnyye paschety vertikalnogo drenagha. Kiev : Naukova dumka. [in Russian]
- Oleynik, A.Ya., Poliakov, V.L. (1987). Drenagh pereuvlaghnyonnykh zemel. Kiev : Naukova dumka. [in Russian]
- Possobiye po proektirovaniyu sooruzheniy dlia zabora podzemnykh vod (k SnIP 2.04.02-84). (1989). VNII Vodgeo Gosstroya SSSR. Moskva : Stroyizdat. [in Russian]
- Poyasniuvalna zapyska. (2016). Rekonstruktsiya Kamyanskoyi ta Znamyanskoyi kompressornykh stantsiy dlia zakhystu vid pidtopleniya Kamyanka-Dniprovskoho rayonu Zaporizkoyi oblasti. Koryuvannia. Tom 1. Derzhvodagenstvo Dnipropetrovsk: DRPVI Dniprodiprovdgosp. [in Russian]
- Romanov, A.V. (1959). Metody filtratsionnykh raschetov drenaghnnykh sooruzheniy Voprosy filtratsionnykh raschetov hidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Moskva: Hosstroyizdat. [in Russian]
- Shestakov, V.M. (1965). Teoreticheskiye osnovy otsenki podpora, vodoponigheniya i drenagha. Moskva : MGU. [in Russian]
- Shinkis, V.I. (1981). Hidrolozhicheskoye deystviye drenagha. Leningrad: Hidrometeoizdat. [in Russian]
- Vassilyev, S.V. et al. (1970). Metody filtpathionnykh raschetov hidromeliativnykh system. Moskva: Kolos. [in Russian]
- Vázquez-Báez, V., Rubio-Arellano, A., García-Toral, D., Rodríguez Mora, I. (2019). Modeling an Aquifer: Numerical Solution to the Groundwater Flow Equation. *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 1613726, 9. <https://doi.org/10.1155/2019/1613726>
- Vertikalnyy drenage iz syfonnym vodovidborom zi sverdlodyn. (2019). Patent Ukrainy na korysnu model No 132266 vid 25.02.2019. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 26.01.20

V. Levytska, PhD student,
E-mail: veral@ukr.net,
ORCID ID 0000-0003-2213-1696;
P. Khoruzhiy, Dr. Sci. (Tech.), Prof., Chief Researcher,
E-mail: petro1939@bigmir.net,
ORCID ID 0000-0002-9433-361X;
Institute of Water Problems and Land Reclamation of the NAAS,
37 Vasylykivska Str., Kyiv-22, Ukraine

INFLUENCE OF DRAINAGE WELLS IN ANTIFILTRATION DRAINAGE SYSTEM

The decrease of water levels in the drainage wells of the coastal anti-filtration drainage system with the siphon method of water intake from them was analyzed.

The interaction of water-lowering wells with different depths and located at variable distances from each other is considered, which makes it possible to ensure uniform drainage from each well and to achieve a steady decrease in the level of groundwater over the entire length of the anti-filtration drainage system. The results of the performed analytical studies are presented.

The example of the Kamyanka-Dniprovsk's anti-filtration drainage system shows that the decrease in water levels in wells at the same flow rate of pumped water depends on their hydraulic interaction, hydrogeological conditions of water filtration from the aquifer and the distance of the anti-filtration drainage system from the bank-side. The results obtained indicate that the highest level of water depletion of the coastal vertical anti-filtration drainage system line with siphon drainage from wells is achieved at a distance of a number of wells from the Kakhovsky reservoir bank-side $a = 100$ m, at the same water flow rate from each of the drainage wells ($Q = 604,8$ m³/day), located at different distances from each other. The highest rate of additional reduction of water obtained through mutual hydraulic action was obtained in the 7th well, which has a depth of 14,9 m, and it is located at a distance of 100 m from the 6th well and at a distance of 110 m from the 8th well. The lowest indicator of the level of groundwater reductions at different indicators of the distance of a number of drainage wells to the bank-side (30, 50, 80, 100 m) is observed in the first well, farthest from the water collection well.

Keywords: anti-filtration drainage system, drainage wells, siphon method of water intake, water depletion, aquifer, Kakhovsky reservoir, level of groundwater reduction.

V. Левицкая, асп., E-mail: veral@ukr.net,
ORCID ID 0000-0003-2213-1696;
П. Хоружий, д-р техн. наук, проф., глав. науч. сотр.,
E-mail: petro1939@bigmir.net,
ORCID ID 0000-0002-9433-361X;
Институт водных проблем и мелиорации НААН,
ул. Васильковская, 37, г. Киев-22, Украина

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДРЕНАЖНЫХ СКВАЖИН В ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕСАХ

Проанализировано снижение уровней воды в дренажных скважинах береговых противофильтрационных завес при сифонном способе водоотведения из них. Рассмотрено взаимодействие водоопускающих скважин с различными глубинами и расположенными на переменных расстояниях друг от друга, что позволяет обеспечить равномерное водоотведение каждой скважины и достичь устойчивого снижения уровня грунтовых вод по всей длине противофильтрационной завесы (на примере защиты от подтопления левобережных территорий Каховского водохранилища). Приведены результаты выполненных аналитических исследований. На примере Каменка-Днепровской противофильтрационной завесы показано, что снижение уровня воды в скважинах, при одинаковых затратах откачиваемой воды зависит от их гидравлического взаимодействия, гидрогеологических условий фильтрации воды из водоносного пласта и расстояний противофильтрационных завес от вреза воды в водохранилище. Полученные результаты свидетельствуют, что самый высокий уровень водоопонения береговой вертикальной противофильтрационной завесы с сифонным способом водоотведения из скважин достигается на расстоянии ряда скважин от вреза воды Каховского водохранилища $a = 100$ м, при одинаковых расходах воды с каждой из дренажных скважин ($Q = 604,8$ м³/сутки), расположенных на разных расстояниях друг от друга. Самый высокий показатель дополнительного снижения уровня воды, полученного благодаря взаимному гидравлическому влиянию, получен в 7-й скважине, глубиной 14,9 м, расположенной на расстоянии 100 м от 6-й скважины и на расстоянии 110 м от 8-й скважины. Самый низкий показатель уровня снижения грунтовых вод при различных показателях расстояний ряда дренажных скважин до вреза воды a (30, 50, 80, 100 м) наблюдается в отдаленной от водосборного колодца первой скважине.

Ключевые слова: противофильтрационная завеса, дренажная скважина, сифонный водовод, расходы воды, водоносный горизонт, Каховское водохранилище, снижение уровней воды.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 550

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.90.14>

Ю. Стародуб, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
E-mail: George_Starodub@yahoo.com;
А. Гаврись, канд. техн. наук, старш. викл.,
E-mail: havrys.and@gmail.com;

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
вул. Клепарівська, 35, Львів, 79000, Україна;

О. Козіонова, провід. інж.,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ІНІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЕКОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ
НА ІНЖЕНЕРНІ МОСТОВУДІВНІ ОБ'ЄКТИ

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

Розглянуто методику моделювання реакції ґрунтової товщі під інженерними об'єктами на еколого-геофізичний стан у задачах вивчення негативного впливу навантажень на напружено-деформований стан ґрунтів під інженерними об'єктами. Розглянуто проблему вивчення стійкості стану та досліджено поведінку ґрунту в околі мостоінженерних будівельних конструкцій.

Для вирішення завдань попередження надзвичайних ситуацій застосовано метод моделювання реакції ґрунтового шару на навантаження під об'єктами інженерії, а також враховано тектонічні впливи при вивченні напружено-деформованого стану земної кори в околицях інженерних об'єктів.

Розроблено алгоритм використання методу скінченних елементів у задачі вивчення напружено-деформованого стану основ ґрунтів під інженерними об'єктами. Здійснено фізико-математичну постановку задачі. Задача моделювання вирішується на тестових прикладах. Розроблено моделі суцільного середовища функціонування інженерних споруд, для яких моделюються напружено-деформаційні характеристики масиву ґрунтів. Проведено теоретичне визначення та моделювання критичних значень напружено-деформованого стану ґрунтового масиву під впливом навантажень.

Моделювання дозволяє передбачити характер впливу механічних процесів на еколого-геофізичний стан навоколишнього середовища та дослідити стійкість інженерних споруд. Досліджено напружено-деформаційні процеси гірського масиву, у результаті яких виникають надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру.

Ключові слова: ґрунти, еколого-геофізичний стан, навантажені інженерні об'єкти.

Вступ. На сьогоднішній день у зв'язку з розвитком будівництва інженерних споруд, а також реконструкцію вже зведених не тільки в Україні, а й в усьому світі, тенденцією є поява проблем, пов'язаних з виникненням надзвичайних ситуацій на інженерних спорудах. Згідно із статистичними даними лише з 2013 до 2015 р. унаслідок раптового руйнування будівель і споруд в Україні виникло 11 аварій, що призвело до трагічних наслідків, у тому числі летальних. Крім того, 14 осіб у 2013 р. та 17 – у 2015 р. було госпіталізовано. Якщо розглянути екологічний фактор, то у світі за цей період відбулося 409 аварій, що призвели до розливу або викиду небезпечних речовин у водні об'єкти, які були безпосередньо під мостоінженерною спорудою. Ці надзвичайні ситуації були наслідком виникнення тріщин, розломів, утворення тектонічних пустот (карстів), підняттям ґрунту біля основ стики ґрунтового масиву з мостовою конструкцією. Останнє, у свою чергу, відбувається внаслідок перевищення можливих напружень і деформацій ґрунтового масиву, що призводить до руйнування верхніх шарів шляхопроводів і мостових конструкцій.

Постановка проблеми. За допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) можна розв'язати загальні завдання, що стосуються вивчення процесів у земній корі, пов'язаних зі складністю її будови. Задачі про дифракцію на одній чи двох неоднорідностях з використанням дифракційного методу і Борнівського наближення, матричного методу з використанням інтегральних перетворень вирішують у часткових випадках модельних представлень (Стародуб, 1998). Числовий метод скінченних різниць дає розв'язок про напружено-деформований стан неоднорідної земної кори, однак використання цього методу передбачає неточності в розв'язанні, пов'язані з різкими змінами фізичних характеристик земної кори: розломами, пустотами, зсувами. Те ж саме в різних проявах може стосуватися комбінованих методів (Стародуб та ін., 2012).

Обраний метод необхідно оптимально використати: здійснити фізичну і математичну постановку задачі,

розробити алгоритм використання методу. Якщо це числовий метод (числові методи здебільшого дають адекватне розв'язання задач, які ставить розвиток сучасної науки і комп'ютерної техніки), необхідно дослідити стійкість і збіжність методу (методу скінченних елементів), розв'язати задачі на тестових прикладах і порівняти їх з практичними результатами (Стародуб, 1998).

Мета статті – отримати можливість обчислити (точніше оцінити) деформації та напруження, особливо у життєво важливих частинах інфраструктури технологічно розвинених регіонів, з метою окреслити межі ослаблених частин гірських порід та штучних конструкцій (бетонний каркас, укріплення тощо), вивчити їх геофізичну природу, швидкості хвилі зсуву і значення тиску або коефіцієнти Юнга і Пуассона, коефіцієнти демпфування та провести інтерактивне комп'ютерне моделювання для кожної конкретної ситуації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: Дослідження в даній статті базуються на використанні методу скінченних елементів для моделювання напружено-деформованого стану гірських порід на основі відомого числового методу (Bathe, 1996; Zienkiewicz and Taylor, 2005).

Впливу природних і техногенних процесів на потенційно небезпечні об'єкти із застосуванням математичного моделювання напружено-деформованого стану гірських порід присвячено роботи (Вижва, 2004; Вижва та ін., 2008), які базуються на теорії й методології комплексної геодинамічної інтерпретації даних геофізичного моніторингу небезпечних геологічних процесів.

Мости, як споруди для транспорту, та правила їхнього проектування описано в Державних будівельних нормах (ДНБ) (Мости та труби 2009; Основи та фундаменти..., 2018). У роботах з механіки ґрунтів описано рекомендації з розрахунку зсувного тиску на заданий елемент масиву і загальної стійкості зсувонебезпечних схилів (Рекомендації..., 1989; Рыжов и Тимофеев, 1989; Корнієнко, 2007). Математичне моделювання стійкості зсувного схилу при підйомі рівня ґрунтових вод та

© Стародуб Ю., Гаврись А., Козіонова О., 2020

оцінка інформативних параметрів стану будівельних конструкцій у режимі моніторингу проведено авторами (Трофимчук *и др.*, 2008; Мостовой *и др.*, 2011). Збірні нерозрізні залізобетонні прогонові будови мостів описано в роботі (Захаров *и др.*, 1983).

Застосування МСЕ для моделювання напружено-деформованого стану ґрунтів в основі конструкцій мостів виконано в роботі (Стародуб *та ін.*, 2012), при цьому для моделювання напружено-деформованого стану використана математична модель Мора – Кулона (Chen and Mizuno, 1990). Дослідженню надзвичайних ситуацій з використанням методу скінченних елементів для вивчення напружень і деформацій ґрунтів в околі мостоінженерних конструкцій з визначенням впливу навантажень присвячено такі роботи (Вербицький *та ін.*, 1988; Стародуб, 1998).

Задачі вивчення ґрунтових масивів земної кори в районі мостоінженерних конструкцій методами комп'ютерного моделювання тісно пов'язані з вибором методу їхнього розв'язання. На основі аналізу існуючих публікацій та методів (Стародуб *та ін.*, 2007; Вихва *та ін.*, 2008; Мостовой *и др.*, 2011; Bathe, 1996; Zienkiewicz and Taylor, 2005; Doltsinis, 2018) для моделювання було обрано метод скінченних елементів.

Методологія. Однією з важливих проблем при проектуванні еколого-геологічного захисту та будівництві мостів, віадуків, тунелів різного призначення є прогнозування екологічного та геофізичного характеру механічних умов гірського масиву з метою визначення стійкості та довговічності конструкцій мостового типу (рис. 1).

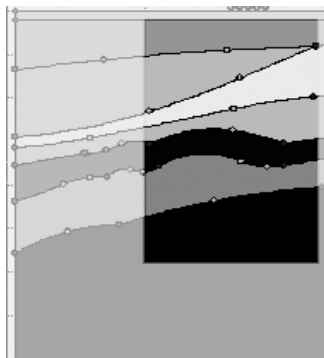


Рис. 1. Модель неоднорідного горизонтального перерізу напівпростору (заштрихована), де на поверхні розміщена структура типу мост

Напружено-деформований стан ґрунтів і мостових споруд визначається геометричними властивостями з різними деформаційними характеристиками та їхнім розподілом. На нього впливають міцність ґрунту, глибина закладення фундаментів мостових конструкцій, процеси промерзання ґрунту, рівень ґрунтових вод тощо. У роботі використовується прогнозування стану конструкцій мостового типу на основі численних експериментів, що використовують МСЕ. Розроблено методологію математичного моделювання для визначення, зокрема, напрямку діяльності сил цивільного захисту. Навантаження на мостову конструкцію має враховувати характер напруженого стану ґрунту, що оточує масив об'єкта, специфіку конструкції, його можливі переміщення та вібраційну поведінку.

У зв'язку із цим рух середовища описується за допомогою Ньютонівської механіки. Узагальнення переміщень для всіх частинок середовища над певним об'ємом (V) із зовнішньою площею (S) із щільністю $\rho(r)$, де r трактується як функція координат – $r(x, y, z)$.

Тіло, яке моделюється, розбивається на елементи. Значення маси елемента m , що апроксимується в декартовій системі координат, зображено на рис. 2, де значення m апроксимується його значеннями в точках – вершинах трикутника. Для вивчення впливу зовнішнього навантаження вивчається вертикальне навантаження на об'єкт. Вектор узагальненого переміщення представляється у вигляді

$$U = (u_{3i-2}, u_{3i-1}, u_{3i}, \dots, u_{3j-2}, u_{3j-1}, u_{3j}, \dots, u_{3k-2}, u_{3k-1}, u_{3k})^T, \quad (1)$$

де $i, j, k = 1, \dots, N_e$.

При тому узагальнені швидкість переміщення і прискорення беруться рівними 0:

$$\dot{U} = \ddot{U} = \vec{0}.$$

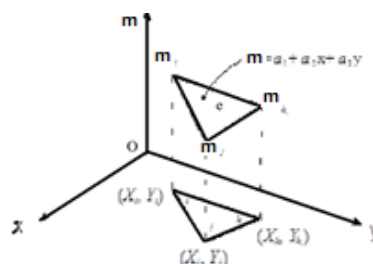


Рис. 2. Модельний трикутний елемент "е" вирізає неоднорідний горизонтальний поперечний переріз XOY напівпростору, де проекція елемента масою m зображена по площині XOY

Таким чином, для частинок із щільністю $\rho_e(r)$ у середовищі залежність від зовнішньої сили можемо записати у вигляді такого рівняння (Bathe, 1996; Стародуб *та ін.*, 2007):

$$KU = R \quad (2)$$

де K – матриця жорсткості, яка визначається так:

$$K = \sum_{e=1}^{N_e} \int_{V^{(e)}} B^{(e)T} D^{(e)} B^{(e)} dv^{(e)}. \quad (3)$$

Матриця $B^{(e)}$ визначається із залежності між векторами деформації й узагальненого переміщення $\varepsilon = B^{(e)}U$, де матриця деформацій в розглянутому випадку записується в матрично-векторній формі для компонент u та v переміщення відповідно по осях X і Y декартової системи координат

$$\varepsilon = [\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{xy}]^T$$

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}, \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x},$$

$D^{(e)}$ – матриця напружень-деформацій матеріалу, визначається законом Гука для напруження $\sigma = D^{(e)}\varepsilon$.

R – вектор навантаження

$$R = \sum_{e=1}^{N_e} \int_{V^{(e)}} N^{(e)T} f^{(e)} dv^{(e)}, \quad (4)$$

де $f^{(e)}$ – вектор навантаження на елемент (e) тіла; $N^{(e)}$ – матриця функцій форми встановлює залежність між вектором переміщень і узагальнених переміщень $u(r) = N^{(e)}U$.

Розраховується значення для сили на поверхні. Математична модель, що використовується, описує напружено-деформований стан у ґрунтовому масиві під навантаженням конструкції мостового типу. Для визначення сили використовуємо критерій наближення Мора-Кулона, який дає

поверхневу силу в тривимірному випадку – так звана модель Друкера-Прагера (Doltsinis, 2000). Математичне співвідношення для сили навантаження таке:

$$F = 3\alpha\sigma_m + \sigma_{eqv} - k, \quad (5)$$

де $\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$ – гідростатичне напруження;

$\sigma_{eqv} = \sqrt{0.5 \sqrt{(s_x^2 + s_y^2 + s_z^2) / 2 + (\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2)}}$ – девіаторне напруження з параметрами $s_x = \sigma_{xx} - \sigma_m$,

$s_y = \sigma_{yy} - \sigma_m$, $s_z = \sigma_{zz} - \sigma_m$.

$$\alpha = \frac{2\sqrt{3} \cdot \sin \varphi}{3(3 - \sin \varphi)}, \quad k = \frac{2\sqrt{3} \cdot c \cdot \cos \varphi}{(3 - \sin \varphi)}, \quad (6)$$

тут α , k – коефіцієнти для обчислення сили F . У формулах (6) c – питоме зчеплення, φ – кут внутрішнього тертя (у градусах) у рамках моделі Друкера – Прагера.

Результати комп'ютерного моделювання. Використовуючи описаний вище алгоритм, представимо експеримент з комп'ютерного моделювання від підготовки даних до отримання результатів моделювання конструкції типу міст.

Підготовка даних: властивості ґрунту, використовуваного в експерименті моделювання, такі: модуль Юнга $E = 10^6$ Па, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$, питоме зчеплення $c = 10^3$ Па, кут внутрішнього тертя $\varphi = 35^\circ$. Маса ґрунту на одиницю об'єму (питома вага) $\gamma = 18$ кН/м³, питоме зчеплення $c = 10^4$ Па. Порівняно з пружними властивостями ґрунту міст вважаємо ідеально-пружним, значення властивостей матеріалу моста: $E = 25 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0,33$; $\gamma = 25 \cdot 10^3$ Н/м³.

Обмеження та завантаження. Нижня горизонтальна межа моделі має обмежені переміщення в горизонтальному X та вертикальному Y напрямках, тим самим імітуючи жорстку основну несучу породу. Модель включає лише половину мосту до осі симетрії. Обмеження стосуються правої частини моделі за площиною симетрії. Ліва вертикальна межа є ідеально гладкою і жорсткою, що моделює обмеження лише горизонтального напрямку та дозволяє рухатись у вертикальному напрямку (рис. 3). Щільність ґрунту вносять у вигляді навантаження на одиницю об'єму (відповідають від'ємному напрямку осі Y).

Вага на одиницю об'єму та деформації моделюються як у природному стані. При використанні методу пружно-

пластичного аналізу спочатку ґрунт має напруження у природному стані (перед навантаженням)

$$\sigma_{xx} = \lambda \sigma_{yy}, \quad \sigma_{yy} = -\gamma y, \quad \lambda = \frac{\nu}{(1 - \nu)}. \quad (7)$$

З використанням описаних вище властивостей матеріалу, обмежень і навантажень отримано результати для моделей, які наведено на рис. 4. На рисунку показано міст, для якого проводилось моделювання, і лінії електропередач, сусідні будівлі та наявність транспортних засобів, які перебувають у зоні ризику в разі можливого руйнування.

Моделювання проводилось з використанням програмного пакету COMSOL. Результати моделювання представлені на рис. 4. Розроблений підхід дозволяє досліджувати напружено-деформований стан об'єктів (будови мостового типу) і контролювати геотехнічні процеси в них, спеціально посилюючи їхні опори з метою зменшення негативного впливу техногенних факторів на навколишнє середовище та ризику виникнення можливих катастроф. Теоретично можливо обчислити і вибрати критично можливі властивості мостових конструкцій для певного типу порід із заданими геофізичними характеристиками та їхній напружено-деформований стан.

Моделювання напружено-деформованого стану ґрунтового масиву проведено з використанням даних, наведених у ДБН (Мости та труби 2009; Основи та фундаменти..., 2018) і одержаних з натурних спостережень. Моделювання проводилось згідно з алгоритмом, представленим вище.

Подані в таблиці дані, які можуть бути використані для моделювання, складені шляхом узагальнення з метою проведення моделювання значної кількості результатів фізичних і механічних досліджень властивостей матеріалів Державних будівельних норм. На практиці ці дані можна використовувати для загальної оцінки стану матеріалів мостоінженерних конструкцій при дослідженні основ і фундаментів споруд, коли здійснюється дія навантаження на основу, що передається через підшву фундаменту і відбувається процес передачі напружень на основи та фундаменти споруд.

Показано напружено-деформований стан масиву під дією навантаження тільки мостоінженерної конструкції, спостерігаються деформації та напруження, що концентруються рівномірно, лише на бокову частину ґрунтового масиву, прилеглу до тіла моста.

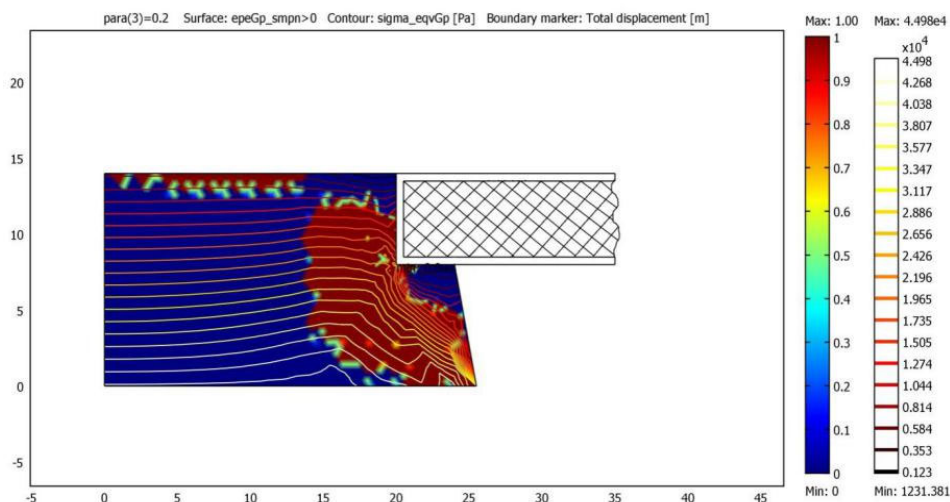


Рис. 3. Поперечний переріз моста показує деформації у площині XY зліва (горизонтальний розмір від 0 до 45 м відповідає осі X , вертикальний розмір збігається з віссю Y , масштаб, як на горизонтальній осі).

У лівій колонці праворуч зображено шкалу деформацій, у правій – ізолінії напружень

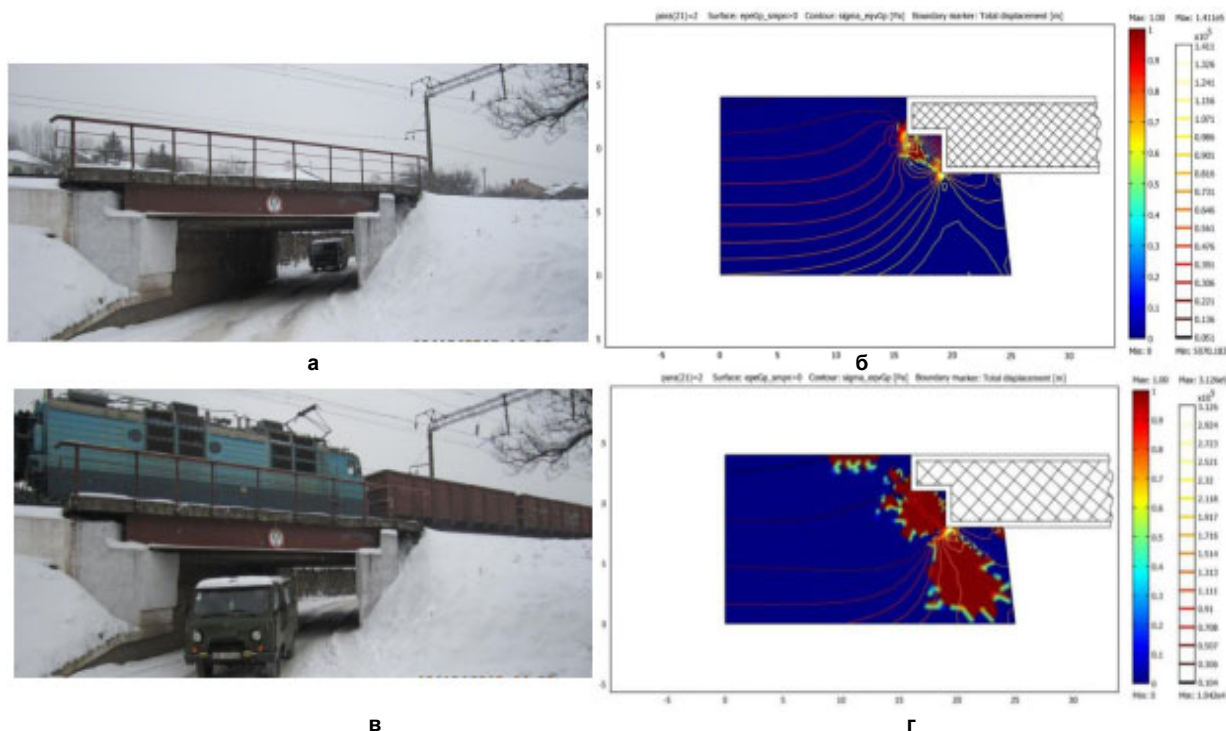


Рис. 4. Міст на вул. Варшавська, м. Львів, Україна

(а – без навантаження; в – навантажений потягом) і результати моделювання напружено-деформованого стану гірських порід у фундаментах конструкцій каркасного типу (б – характеристики ненавантаженої моделі; г – модель навантажена потягом). Умовні позначення див. на рис. 3

Таблиця

Властивості матеріалу ґрунтового масиву та залізобетону

Фізична величина	Позначення	Значення величин		Одиниці виміру
		для ґрунтового масиву	для залізобетону	
Модуль Юнга	E	10E ⁶	25E ⁹	Па
Коефіцієнт Пуассона	v	0,3	0,33	–
Питоме зчеплення	c	10000	–	Па
Кут внутрішнього тертя	φ	35	–	град.
Питома вага	γ	18000	56000	Н/м ³

Наступна натурна модель змодельована для мостоінженерної споруди, наведеної на рис. 5, а, в з визначеним напружено-деформованим станом ґрунтового масиву, питома вага якого становить 18 кН/м³, питоме зчеплення – 10 кПа, що відповідає фізико-механічним характеристикам суглинкового ґрунту. Питома вага мостоінженерної споруди становить 56 кН/м³ відповідно до характеристик залізобетону (*Основи та фундаменти...*, 2018). На рис. 5, б, г представлено моделювання напружено-деформованого стану гірських порід у фундаментах конструкції каркасного типу: ненавантажена та навантажена вагою потяга моделі. Розподіл деформацій і напружень для моделі конструкції моста: деформації – зміни кольорів на шкалі деформацій, напруження – ізолінії на шкалі напружень.

Розглянемо зміну напружень і деформацій для моделі мостоінженерної споруди із впливом навантаження (рис. 6). Для прикладу взято вагу одного вантажного вагону – приблизно 75 т, для моделі взято половину ваги, оскільки навантаження розподілено по всій довжині, а моделювання проводиться для половини моста (тобто 32,5 т). Спостерігаємо явну зміну напружень і суттєве збільшення деформацій, а головне, деформації поширюються на поверхню ґрунтового масиву, що свідчить про можливість утворення негативних процесів в області впливу та необхідність його укріплення.

При збільшенні навантаження деформації концентруються нерівномірно: збільшені деформації припадають на частину конструкції в околі перекриття моста, в області опори моста, а також проявляються на поверхні ґрунтового масиву, що є негативним явищем. При цьому

навантаження для конструкції можуть бути більшими, якщо забезпечити укріплення ґрунтового масиву шляхом створення бетонної подушки з підсиленими фізико-механічними характеристиками.

Отримані результати моделювання напружено-деформованого стану ґрунтів дозволяють управляти геотехнічними процесами: за необхідності укріплюючи опори мостоінженерних конструкцій для зменшення негативного впливу техногенних факторів впливу на навколишнє середовище. Також, можливо теоретично розраховувати та підбирати критично можливі величини розташування конструкції для певного виду ґрунтового масиву з відомими геолого-геофізичними характеристиками.

З метою вивчення можливостей укріплення мостоінженерної споруди в місці прилягання моста до ґрунту і можливого зменшення навантаження на ґрунт проведено моделювання для зміненої форми моста, яка містить опору з матеріалу залізобетону і проникає всередину ґрунту на його схилі, як показано на наступних модельних прикладах (рис. 6).

Розподіл напружень у ґрунті в області дотикання опор на ґрунт має величину порядку 2*10⁵ Н/м². Збільшення напружень на ізолініях від величини 2,4*10⁵ Н/м² до 6,9*10⁵ Н/м² відповідає збільшенню питомого навантаження від 56 кН/м² до 100 кН/м² (рис. 6). При цьому характер зміни деформацій на схилах опор мостів відповідає зміні питомої ваги мостової конструкції. Збільшенню питомого навантаження від 56 кН/м² до 100 кН/м² відповідає зміна напружено-деформованого стану мостобудівної структури від стійкого до нестійкого.

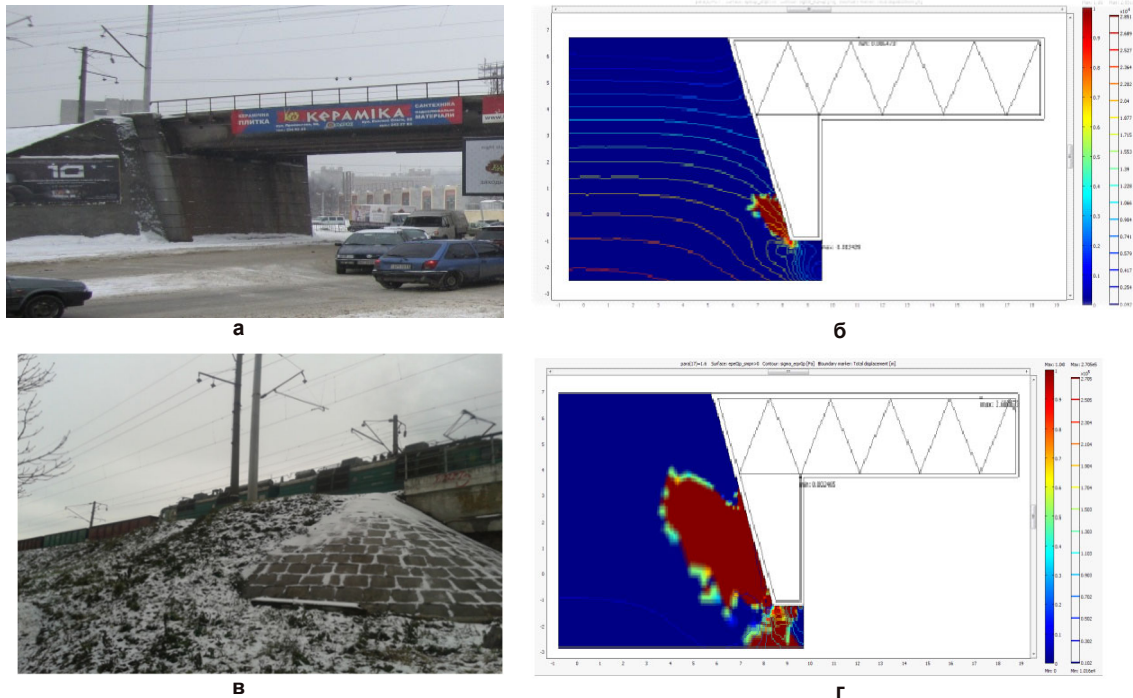


Рис. 5. Міст у районі вул. В. Чорновола, м. Львів, Україна

(а – без навантаження; в – навантажений потягом) і результати моделювання напружено-деформованого стану гірських порід у фундаментах конструкцій каркасного типу (б – характеристики ненавантаженої моделі; г – модель навантажена потягом).

Умовні позначення див. на рис. 3

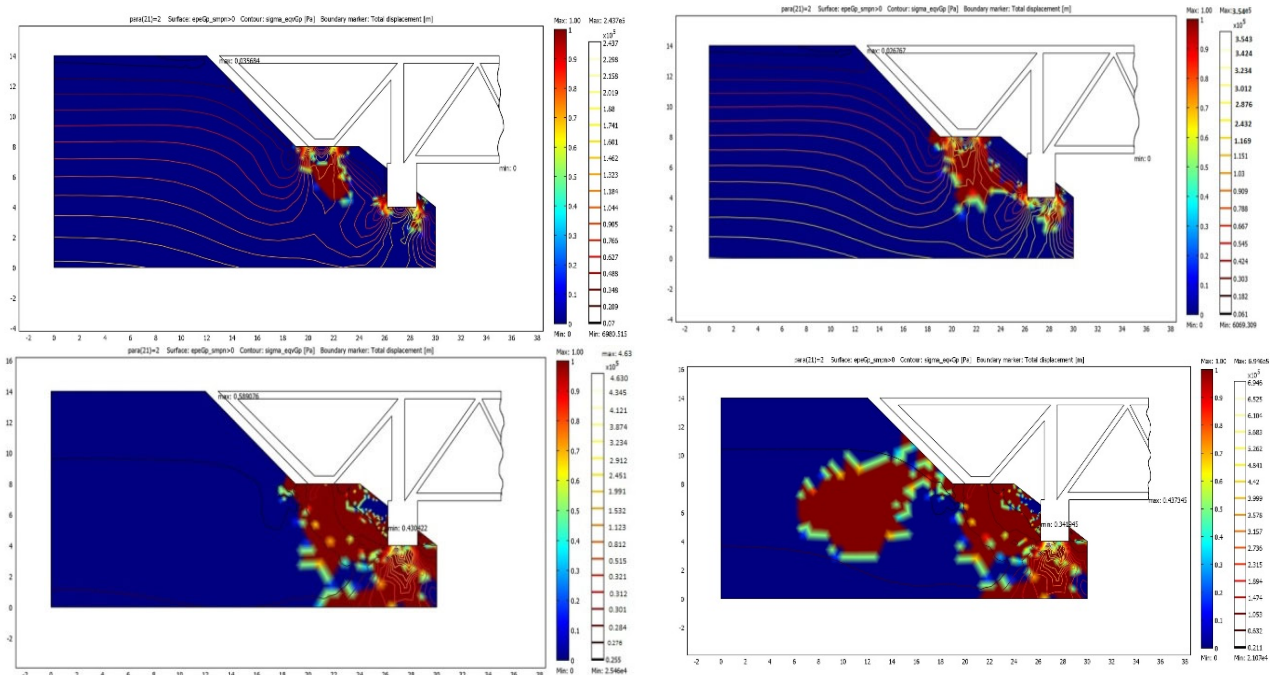


Рис. 6. Натурна модель, що представляє ґрунтовий масив із заданими геолого-геофізичними характеристиками (див. табл.) і визначеним напружено-деформованим станом

Дискусія та перспективи подальшого розвитку в даному напрямі. Узагальнимо, що задачі вивчення впливу ґрунтів в основі інженерних мостобудівних споруд на їхній напружено-деформований стан методами математичного моделювання тісно пов'язані, по-перше, з вибором методу їхнього розв'язання. На основі огляду існуючих публікацій для дослідження було обрано метод скінчених елементів, за допомогою якого можна розв'язати набагато більш загальні задачі щодо вивчення будови земної кори, ніж із використанням аналітичних методів. Використання числового методу для цих задач передбачає неточності в розв'язанні, пов'язані з різними

зміними фізичних характеристик: розломами, пустотами, зсувами. Те ж саме в різних проявах може стосуватись і комбінованих методів.

По-друге, обраний метод необхідно оптимально використати: правильно здійснити фізичну і математичну постановку задачі, розробити алгоритм використання методу. Вирушуючи практичні задачі, необхідно дослідити стійкість і збіжність МСЕ, розв'язати задачі на тестових прикладах і порівняти їх з результатами із практики.

Висновки. Шляхом проведення числових експериментів отримано модельні результати, що дозволяють

теоретично розрахувати і визначити напружено-деформовані стани ґрунтового масиву під інженерно-будівельними (мостовими) конструкціями та передбачити небезпеку руйнування масивів унаслідок зростання напружень і деформацій під впливом дії навантажень.

Досліджено та проаналізовано метод локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій, шляхом моделювання поведінки ґрунтового масиву внаслідок дії структурних навантажень.

Застосування наведеної методики дозволяє управляти геотехнічними процесами і надавати рекомендації щодо зменшення негативного впливу техногенних факторів на навколишнє середовище, дає можливість теоретично спрогнозувати стійкість інженерних споруд і на практиці мінімізувати наслідки надзвичайних ситуацій від напружень і деформацій ґрунтів під мостоінженерними конструкціями.

Список використаних джерел

- Вербицький, Т.З., Стародуб, Ю.П., Брич, Т.Б. (1988). Вивчення розподілу напружень, деформацій і переміщень в масиві гірських порід з циліндричною неоднорідністю. *Геofізичний журнал*, 6, 36–43.
- Верпаховська, О.О., Пилипенко, В.М. (2019). Зображення глибинної будови геологічного середовища із застосуванням сейсмічної міграції рефрагованих хвиль. К.: Наук. думка.
- Вишва, С.А. (2004). Теорія і методологія комплексної геодинамічної інтерпретації даних геофізичного моніторингу небезпечних геологічних процесів. *Дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.22*. Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ.
- Вишва, С.А., Винниченко, О.Б., Кендзера, О.В. (2008). Вплив природних і техногенних процесів на потенційно небезпечні об'єкти. Монографія. К.: ВПЦ "Київський університет".
- Захаров, Л.В., Колоколов, Н.М., Цейтлін, А.Л. (1983). Сборные неразрезные железобетонные пролетные строения мостов. М.: Транспорт.
- Корнієнко, М.В. (2007). *Механіка ґрунтів*. К.: КНУБА.
- Мости та труби. Основні вимоги проектування. (2009). *ДБН В.2.3-22:2009*.
- Мостовой, В.С., Мостовой, С.В., Кондра, С.М., Страшко, Ж.С. (2011). Оценка информативных параметров состояния строительных конструкций в режиме мониторинга. *Промышленное строительство и инженерные сооружения*, 1, 24–29.
- Основи та фундаменти будівель і споруд. Основні положення. (2018). *ДБН В.2.1-10:2018*.
- Рекомендации по комплексным мерам защиты зданий и сооружений на оползнеопасных склонах. (1989). Ред. А.И. Капитоненко. К.: НИИСК.
- Рыжов, А.М., Тимофеев, С.В. (1989). Рекомендации по расчёту оползневого давления на заданный элемент массива и общей устойчивости оползнеопасных склонов. К.: НИИСК.
- Стародуб, Ю.П. (1998). Прямая динамическая задача сейсмике для вивчення будови земної кори. Львів: Світ.
- Стародуб, Ю.П., Гончар, Т.М., Федюк, Я.І., Захарченко, А.В. (2012). Моделювання напружено-деформованого стану основ у будівельних конструкціях мостів. *Міжнародна конференція Карпатського інституту геофізики НАН України*, Львів. Отримано з <https://virt.dubgd.edu.ua/sta/1.pdf>
- Стародуб, Ю.П., Кендзера, О.В., Купльовський, Б.Є. (2007). Методика моделювання хвильових полів і напружено-деформованого стану в неоднорідному півпросторі з використанням методу скінченних елементів. Центр математичного моделювання ІПГММ НАН України. *Препринт № 07*.
- Трофимчук, А.Н., Калюх, Ю.І., Глебчук, А.С. (2008). Математическое моделирование устойчивости оползневого склона при подъеме уровня грунтовых вод. *Экология и ресурсы*, 18, 51–58.

- Bathe, K.-J. (1996). *Finite Element Procedures*. Prentice Hall.
- Chen, W.F., Mizuno, E. (1990). *Nonlinear Analysis in Soil Mechanics*. Elsevier.
- Doltsinis, I. (2000). *Elements of Plasticity*. WIT Press.
- Doltsinis, I. (2018). A note on the stiffness and flexibility natural approach to the training spring cell. *Engineering Computations*, 35 (3), 1130–1139.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. (2005). *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics*. Elsevier.

References

- Bathe, K.-J. (1996). *Finite Element Procedures*. Prentice Hall.
- Chen, W.F., Mizuno, E. (1990). *Nonlinear Analysis in Soil Mechanics*. Elsevier.
- Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannia. (2009). *ДБН В. 2.3-22:2009*. [in Ukrainian]
- Osnovy ta fundamenti budivel i sporud. Osnovni polozhennia. (2018). *ДБН В.2.1-10:2018*. [in Ukrainian]
- Doltsinis, I. (2000). *Elements of Plasticity*. WIT Press.
- Doltsinis, I. (2018). A note on the stiffness and flexibility natural approach to the training spring cell. *Engineering Computations*, V.35 (3), 1130–1139.
- Kornienko, M.V. (2007). *Mekhanika hruntiv*. KNUBA. Kyiv. [in Ukrainian]
- Mostovoy, V.S., Mostovoy, S.V., Kondra, S.M., Strashko, Zh.S. (2011). Otsenka informativnykh parametrov sostoyaniya stroitelnykh konstruktсий v rezhime monitoringa. *Promyshlennoe stroitelstvo i inzhenernyye sooruzheniya*, 1, 24–29. [in Russian]
- Rekomendatsii po kompleksnyim meram zaschityi zdaniy i sooruzheniy na opolzneopasnykh sklonakh. (1989). Eds. A.I. Kapitonenko. NIISK, Kyiv. [in Russian]
- Ryzhov, A.M., Timofeev, S.V. (1989). Rekomendatsii po raschyotu opolzneovogo davleniya na zadannyiy element massiva i obschey ustoychivosti opolzneopasnykh sklonov. NIISK, Kyiv. [in Russian]
- Starodub, Yu.P., Kendzera, O.V., Kuplovskiy, B.Ie. (2007). Metodyka modelyuvannia khvylovykh poliv i napruzhenno-deformovanoho stanu v neodnorodnomu pivprostori z vykorystanniam metody skinchennykh elementiv. Tsentr matematychnoho modelyuvannia IPPMM NAN Ukrainy. *Pereprint № 7*. [in Ukrainian]
- Starodub, Yu.P. (1998). Priama dynamichna zadacha seismiky dlia vyvchennia budovy zemnoi kory. Lviv: Svit. [in Ukrainian]
- Starodub, Yu.P., Honchar, T.M., Fediuk, Ya.I., Zakharchenko, A.V. (2012). Modelyuvannia napruzhenno-deformovanoho stanu osnov u budivelnykh konstruktсийakh mostiv. *Mizhnarodna konferentsiya Karpatskoho institutu heofizyky NAN Ukrainy, Lviv*. Retrieved from <https://virt.dubgd.edu.ua/sta/1.pdf> [in Ukrainian]
- Trofimchuk, A.N., Kalyuh, Yu.I., Glebchuk, A.S. (2008). Matematicheskoe modelirovanie ustoychivosti opolzneovogo sklonu pri pod'eme urovnya gruntovykh vod. *Ekologiya i resursy*, 18, 51–58. [in Russian]
- Verbytskyi, T.Z., Starodub, Yu.P., Brych, T.B. (1988). Vyvchennia rozpodilu napruzhen, deformatsii i peremishchen v masivy hirskykh porid z tsylindrychnoiu neodnorodnistiu. *Geophysical Journal*, 6, 36–43. [in Ukrainian]
- Verpakhovska, O.O., Pylypenko, V.M. (2019). Zobrazhennia hlybynnoi budovy heolohichnoho seredovyschha iz zastosuvanniam seismichnoi mihratsii refrahovanykh khvyl. Kyiv: Naukova dumka. [in Ukrainian]
- Vyzhva, S.A., Vynnychenko, O.B., Kendzera, O.V. (2008). Vplyv pryrodnykh i tekhnichnykh protsesiv na potentsiino nebezpechni ob'ekty: monohrafiia. Kyiv: VPTS "Kyivskyy universytet". [in Ukrainian]
- Vyzhva, S.A. (2004). Teoriia i metodolohiia kompleksnoi heodynamichnoi interpretatsii danykh heofizychnoho monitorynhu nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv. *Doctor's thesis (Geol. Sci. 04.00.22)*. Kyiv. [in Ukrainian]
- Zaharov, L.V., Kolokolov, N.M., Tseytlin, A.L. (1983). Sbornyie nerazreznyie zhelezobetonnyie proletnyie stroeniya mostov. Moskva: Transport. [in Russian]
- Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. (2005). *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics*. Elsevier.

Надійшла до редколегії 25.05.20

Yu. Starodub, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,
E-mail: George_Starodub@yahoo.com;
A. Havrys, PhD (Tech.), Senior teacher,
E-mail: havrys.and@gmail.com;
Lviv State University of Life Safety,
35 Kleparivska Str., Lviv, 79000, Ukraine;
O. Kozionova, Leading Engineer,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

MODELLING OF THE EFFECTS OF THE ENVIRONMENTAL-GEOPHYSICAL STATE OF SOILS ON ENGINEERING BUILDING OBJECTS

The article deals with the method of the reaction modelling of soil strata under engineering objects to ecological and geophysical state in the problems of studying the negative influence of loads on a stress-strain state of soil under engineering objects. The problem of stability study is considered and the behaviour of soil in a vicinity of bridge-engineering structures is investigated.

To solve the problems of emergency protection, a method of modelling the reaction of the soil layer under the load on the engineering objects due to tectonic influences to study the stress-strain state of the ground crust in a vicinity of engineering objects is used.

An algorithm of the finite element method in the problem of studying the stress-strain state of soil base under engineering objects has been developed. The physical and mathematical formulation of the problem is carried out. The modelling problem is solved by test cases. Models of continuous environment of functioning engineering structures for which stress-strain characteristics of the soil massif modelled are developed. The theoretical definition and modelling of critical values of the stress-strain state of the soil mass under the influence of loads are carried out.

Modelling allows to predict the nature of the influence of mechanical processes on the ecological and geophysical state of the environment and to study the stability of engineering structures. Stress-deformation processes of the rock massif are investigated, as a result of which emergencies of natural and man-made characters can arise.

Keywords: soil, ecological and geophysical state, loaded engineering objects.

Ю. Стародуб, д-р физ.-мат. наук, проф.,
E-mail: George_Starodub@yahoo.com;
А. Гаврись, канд. техн. наук, ст. препод.,
E-mail: havrys.and@gmail.com;
Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности,
ул. Клепаривска, 35, Львов, 79000, Украина;
О. Козионова, ведущ. инж.,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКОГЕОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ НА ИНЖЕНЕРНЫЕ МОСТОСТРОИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Рассмотрена методика моделирования реакции почвенной толщи под инженерными объектами при изучении негативного влияния нагрузок на напряженно-деформированное состояние грунтов. Рассмотрена проблема изучения устойчивости состояния и исследовано поведение почвы в окрестности мостоинженерных строительных конструкций.

Для решения задач предупреждения чрезвычайных ситуаций использован метод моделирования реакции почвенного слоя на нагрузку под объектами инженерии и учтены тектонические воздействия при изучении напряженно-деформированного состояния земной коры в окрестностях инженерных объектов.

Разработан алгоритм использования метода конечных элементов в задаче изучения напряженно-деформированного состояния оснований грунтов под инженерными объектами. Осуществлена физико-математическая постановка задачи. Задача моделирования решается на тестовых примерах. Разработаны модели сплошной среды функционирования инженерных сооружений, для которых моделируются напряженно-деформационные характеристики массива почв. Проведено теоретическое определение и моделирование критических значений напряженно-деформированного состояния грунтового массива под воздействием нагрузок.

Моделирование позволяет предсказать характер воздействия механических процессов на эколого-геофизическое состояние окружающей среды и исследовать устойчивость инженерных сооружений. Исследованы напряженно-деформационные процессы горного массива, в результате которых возникают чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера.

Ключевые слова: грунты, эколого-геофизическое состояние, нагруженные инженерные объекты.

Наукове видання



ВІСНИК
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОЛОГІЯ

Випуск 3(90)

Комп'ютерна обробка статей – О. О. Козіонова

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром "Київський університет"

Opinions, statements, accuracy of the quotations, economic and statistical data, terminology, proper names and other information are made on the responsibility of the authors. The Editorial Board reserves the right to shorten and edit the submitted materials.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, відповідної галузевої термінології, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали.



Формат 60x84^{1/8}. Ум. друк. арк. 12,1. Наклад 300. Зам. № 220-9772.
Гарнітура Arial. Папір офсетний. Друк офсетний. Вид. № Гл3.
Підписано до друку 29.09.2020

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