

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
КАРПАТСЬКЕ ВІДДІЛЕННЯ ІНСТИТУТУ
ГЕОФІЗИКИ ім. С.І. СУББОТІНА



**ГЕОФІЗИКА І ГЕОДИНАМІКА:
ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ
ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Львів, 10 - 12 жовтня 2023 р.

Національна академія наук України
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна
Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна
Національний університет «Львівська політехніка»
Наукове товариство імені Шевченка
Українська нафтогазова академія
ДМП «Геомод»

**ГЕОФІЗИКА І ГЕОДИНАМІКА:
ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ
ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА**

**GEOPHYSICS AND GEODYNAMICS:
PREDICTION AND MONITORING
OF GEOLOGICAL MEDIUM**

Львів
Растр-7
2023

УДК 550.3 + 550.83 + 551.24

Гео 35

Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища / Під заг. ред. В.Ю. Максимчука. – Львів : Растр-7, 2023. – 236 с.

ISBN 978-617-8296-53-7

Збірник містить наукові праці, присвячені проблемам геофізичних, геологічних, геодезичних досліджень: вивченню глибинної будови, тектоніки та геодинаміки земної кори; сейсмології та геофізичних досліджень сейсмоактивних регіонів; технологій геолого-геофізичного прогнозування геологічного середовища для пошуків родовищ нафти і газу та інших корисних копалин; геофізичного моніторингу еконебезпечних природних і техногенних процесів; методам математичного і фізичного моделювання та геоінформаційним технологіям для обробки та інтерпретації геофізичних даних. Матеріали праць були обговорені на IX-й Міжнародній науковій конференції „Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища”, яка проходила 10-12 жовтня 2023 р. у Львові, в Карпатському відділенні Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

Для фахівців у галузі геофізики, геології, геодезії та суміжних наук.

Редакційна колегія:

чл.-кор. НАН України, доктор фіз.-мат. наук, проф. В.Ю. Максимчук
канд. фіз.-мат. наук О.Я. Сапужак
канд. геол. наук Р.С. Кудеравець
доктор фіз.-мат. наук, проф. Д.В.Малицький
канд. фіз.-мат. наук, с.н.с. А.В. Назаревич
канд. фіз.-мат. наук А.Р. Гнип

Автори матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, відповідної галузевої термінології, власних імен та інших відомостей.

Ухвалено до друку

Вченою радою Карпатського відділення Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України

ISBN 978-617-8296-53-7

© Карпатське відділення Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України, 2023
© Видавництво «Растр-7», 2023

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ INSAR
ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ГЕОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
(НА ПРИКЛАДІ СОЛОТВИНСЬКОГО СОЛЕРУДНИКА)**

Степан Савчук¹, Наталя Каблак², Іван Калинич², Марія Ничвид²

¹ Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

² ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород, Україна

Вступ. Території з деформаціями земної поверхні через геотектонічні рухи, зсуви зустрічаються у відносно густонаселених районах, промислових, сільськогосподарських та міських рекреаційних зонах [1]. Особливого розвитку цей процес набув у районах видобутку соляних корисних копалин у межах Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської та Донецької областей.

Згідно з архівними даними, Солотвинське родовище розроблялося підземним методом понад 220 років. Промислова розробка Солотвинського родовища кам'яної солі почалася в 1778 р. На родовищі в різний час працювало 9 копалень. Усі сім старих шахт раніше були закриті з економічних та технічних (аварійних) причин, і донедавна їх стан визначався як екологічно збалансований, оскільки їх своєчасно законсервували засипкою або затопленням. Видобуток солі ДП «Солотвинський солерудник» було припинено на початку 2007 р. У 2009 р підприємство припинило закачування шахтних вод у поверхневі водойми. Були затоплені робочі горизонти соляної шахти та підземні відділення обласної та Української алергологічних лікарень. Територія гірничих виробок Солотвинського солерудника була оголошена зоною надзвичайної ситуації у 2010 р. Відсутність фінансування аварійно-відновлювальних робіт та технічного переоснащення призвела до руйнування цілісного майнового комплексу, активізації карстових процесів як на території підприємства, так і за його межами. Техногенно активізований карст в межах Солотвинського родовища спричинив докорінні зміни рельєфу земної поверхні, збільшення коефіцієнта стоку, зміни місць живлення та розвантаження підземних вод. Для моніторингу карстових проявів було вирішено застосувати комплексну технологію [2]: локальний геодезичний моніторинг за матеріалами цифрового аерознімання [3], топографічне знімання, високоточне нівелювання та технологію космічного дистанційного зондування InSAR, що стає потужним інструментом для проведення великомасштабних спостережень і моніторингу деформацій поверхні.

Методи досліджень. Карстомоніторинг почався з виявлення найбільш небезпечних ділянок земної поверхні, схильних до вертикальних зсувів, використовуючи InSAR. Для обробки серії радарних зображень було використано два методи: метод стійких відбивачів (PS) та метод інтерферометрії малих базових ліній (SBaS), що дає можливість з точністю до міліметрів виявляти та вимірювати рух земної поверхні, які зазвичай викликані зсувами, осіданнями, землетрусами. За допомогою методів PS і SBaS на території Солотвинського родовища за період з 30.04.2016 р по 25.06.2018 р було виявлено тенденцію до підняття рівня води над шахтою № 7 та зафіксовано подальше розширення та зростання рівня затоплення шахти №8 [4]. У роботі [5] автори проаналізували просторово-часову

еволюцію деформації земної поверхні в районі Солотвинського солерудника протягом 2014-2019 рр. методом радіолокаційної інтерферометрії за даними Sentinel-1. Результати свідчать про розширення карстів з максимальною швидкістю деформації 5 см/рік. Аналіз поверхневих деформацій у смт.Солотвино також проведено в [6]. Виконано оцінку зміщень поверхні на основі InSAR з використанням даних трьох супутників: ERS, Envisat і Sentinel-1 з 1992 по 2021 рр.. Результати кількісного аналізу вказують на інтенсивне зміщення поверхні та осідання над зоною видобутку. Проте обсяг нестійких поверхонь зменшився і зосередився над центральною частиною селища.

Результати досліджень. Для проведення аналізу InSAR було опрацьовано понад 300 знімків Sentinel 1A/B (S1A/B), отримані для кожної відносної орбіти D080 і D153. Обробка регіональних даних виконувалась в межах прямокутної сітки, розбитої на 16x16 квадратів (рис. 1).

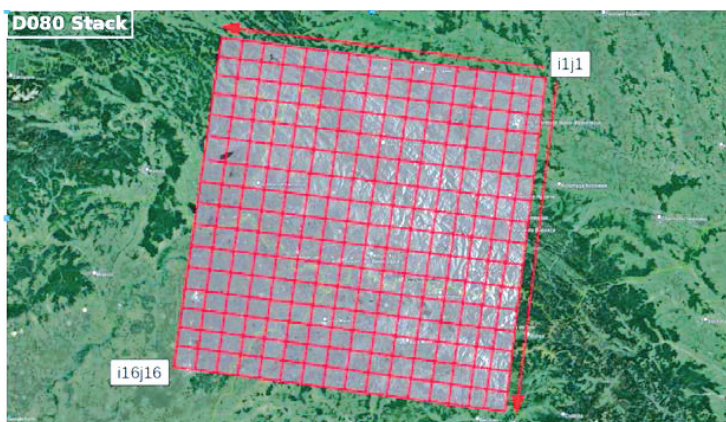


Рис. 1. Налаштування робочої зони дослідження.

Основними вхідними даними InSAR-аналізу на території смт.Солотвино були інтерферометричні дані Sentinel-1A (S1A) та Sentinel-1B (S1B) TOPS (Terrain Observation with Progressive Scanning) в період з 2014 р. до 2021 р. (для зменшення впливу снігу, були виключені дані за зимові місяці з жовтня по квітень). Для моніторингу зсувів земної поверхні було отримано набори даних С-діапазону у форматі Single Look Complex (SLC) з поляризацією VV, що були доступні через Alaska Satellite Facility (ASF) [7].

Для отримання часових рядів деформації було запроваджено мультиреференційний аналіз інтерферометричних точок (ІРТА) за допомогою програмного забезпечення GAMMA (<https://gamma-rs.ch/>). В результаті було виявлено руйнування шахтних сховищ та утворення кількох невеликих ставків і озер. Також помітно, що видимої деформації зазнала значна площа житлових кварталів та промислових зон (рис. 2, 3). Так на рис. 2 представлено карту деформацій, отриману за допомогою аналізу InSAR. Деформація (у мм) вимірюється в кожній даті отримання SAR, що формує часовий ряд. Швидкість деформації (мм/рік) оцінюється за допомогою лінійної регресії часових рядів деформацій. Як можна побачити (рис.3), більшість

визначених точок пов'язані з середовищем забудови або інфраструктурою, що є характеристикою методу, що застосовувався, а саме інтерферометрії постійного розсіювання (PSI). Більшість цих точок розсіювання візуалізуються як «зелені» або близькі до зелених кольорів, що означає стабільні області. Позитивні (підняття) або негативні (осідання) зміщення відповідають вертикальним деформаціям та виділені відповідно синім і червоним кольорами.

Так, з 01.01.2014 р. по 31.03.2022 р. без урахування зимових періодів, у смт. Солотвино виявлено значні зміни земної поверхні з максимальною швидкістю деформації $\sim 18,8$ мм/рік в центральній частині солерудника поблизу шахт №7 та №8, а також на території діючого продовольчого ринку.

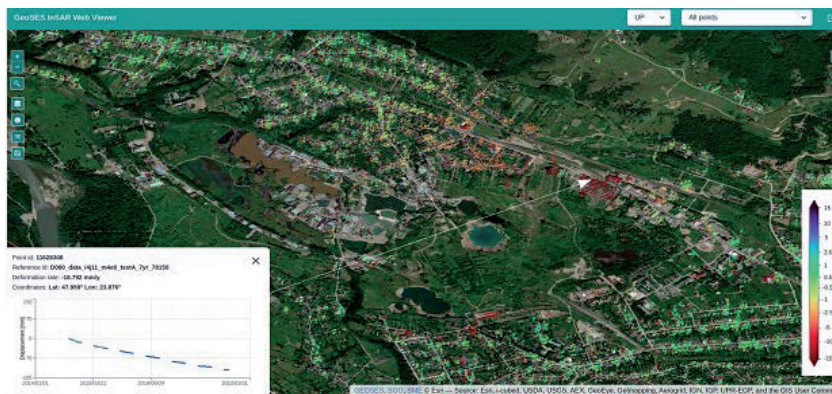


Рис. 2. Результати моніторингу InSAR (<https://geoses.sgo-penc.hu/>).

Висновки. У дослідженні розглянуто підхід супутникової радіолокаційної інтерферометрії для виявлення впливу карстових процесів на території Солотвинського солерудника. Було проведено знімання поверхні в інтерферометричному режимі супутників Sentinel-1A та Sentinel-1B, що охоплював період 2014-2022 рр. Щоб отримати часові ряди деформацій виконано аналіз ІРТА. Проведені дослідження ще раз засвідчують наявність складної екологічної ситуації в регіоні, для вирішення якої необхідно продовжити систему постійного геомоніторингу Солотвинського солерудника.

Основні висновки:

1. Продемонстровано, що значні деформації поверхні гірничих виробок Солотвинського солерудника все ще тривають і пов'язані з колишніми роботами з видобутку солі.
2. Виявлено значні зміни земної поверхні зі швидкістю деформації $\sim 18,8$ мм/рік в межах розроблених воронок в центральній частині солерудника поблизу шахт №7 та №8, а також зміни земної поверхні на території продовольчого ринку.
3. Досліджувану територію потрібно додатково спостерігати сучасними геодезичними методами.

Використання технології InSAR пропонується визнати стандартом, який можна буде адаптувати на інших деградованих землях України.

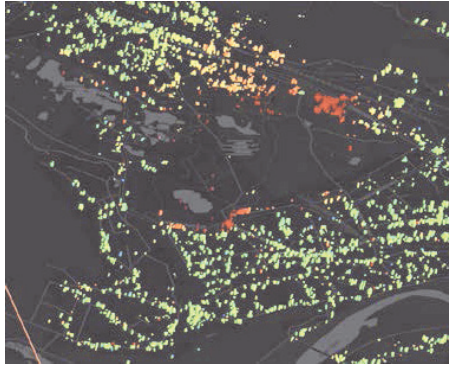


Рис. 3. Промислова територія, що зазнала видимої деформації.

Публікація здійснена в рамках виконання міжнародного гранту HUSKROUA/1702/8.1/0065 – Розширення операційної системи "Космічна аварійна система" в напрямку моніторингу небезпечних природних та техногенних геопроцесів у прикордонному регіоні HU-SK-RO-UA.

Перелік посилань:

1. Калинич І.В., Каблак Н.І., Скаканді С.В. (2017). Динаміка розвитку зсувних процесів на території Закарпатської області. Містобудування та територіальне планування. №64. С. 535-543.
2. Kablak N., Nychvyd M., Prodanets I., Kalynych I. Analysis of research on the current geodynamic state of the Carpathian region. 29th International Scientific Conference SCEgeo 2022, Wrocław (hybrid), June 22-24, 2022.
3. Калинич, І.В., Ничвид, М.Р., Каблак, Н.І., Проданець, І.І. & Ваш, Я.І. (2022). Monitoring of geodynamic processes in the tysa river basin using AUTEL EVO II PRO RTK UAV. Geodesy, cartography and aerial photography. Issue 95, 2022, 77-93. DOI: 10.23939/istcgcap2022.95.077.
4. Пакшин М., Ляска І., Каблак Н., Яремко Г. (2021). Дослідження впливу гірничих виробок рудників ДП «Солотвинський солерудник» на земну поверхню, будівлі та споруди з використанням супутникового радарного моніторингу. Геодинаміка, 2021, 2(31), с. 41-53. DOI: 10.23939/jgd2021.02.041.
5. Gönczy, S., Bozsó, I., Bányai, L., Szakacs, A., Szárnya, C., & Wesztergom, V. (2021). Evolution of surface deformation related to salt-extraction-caused-sinkholes in Soltovyno (Ukraine) revealed by Sentinel-1 radarinterferometry. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 21, 977-993. DOI: 10.5194/nhess-21-977-2021.
6. Dobos E, Kovács IP, Kovács DM, Ronczyk L, Szűcs P, Perger L, Mikita V. (2022). *Surface Deformation Monitoring and Risk Mapping in the Surroundings of the Soltovyno Salt Mine (Ukraine) between 1992 and 2021*. Sustainability, 14(13):7531. DOI: 10.3390/su14137531.
7. Magyr, B., Horváth, R. (2022). Regional scale monitoring results of surface deformation in the Transcarpathian Region, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-9443, DOI: 10.5194/egusphere-egu22-9443, 2022.

ЗМІСТ

A. Javadova. To the seismic interpretation of the North Apsheron trend	3
V. Gadirov. The role of gravi-magnetic exploration in direct search of oil and gas reservoirs ..	7
D. Malytskyy, L. Fojtikova, J. Málek, F. Staněk, A. Gnyp, O. Astashkina, V. Nikulins, N. Zabrodska, R. Pak. Seismic moment tensor and focal mechanism for the earthquake of April 23, 2020 in Eastern Slovakia determined by waveform inversion	11
A. Gnyp. Determining earthquake locations using variations in the intervals between their first <i>p</i> - and <i>s</i> -waves	15
O. Shabatura, A. Yakymcnyk. Multidimensional comparison of the volcanic formations of the Carpathian segment according to their petrophysical characteristics	19
O. Pidvirnyy, Ja. Lukowski. The impedance tomography system – software	23
A. Onanko, D. Charnyi, Yu. Onanko, O. Dmytrenko, M. Kulish, T. Pinchuk-Rugal, M. Yatsiuk, E. Matselyuk, S. Marysyk, V. Popruzhko, P. Ilyin. Static and dynamical elastic, shear modules, mechanical spectroscopy of sandstone SiO ₂ , nanocomposites	27
A. Onanko, D. Charnyi, Yu. Onanko, O. Dmytrenko, M. Kulish, T. Pinchuk-Rugal, M. Yatsiuk, E. Matselyuk, S. Marysyk, V. Popruzhko, A. Gaponov, L. Kurochka, P. Ilyin. Superdeep thermogeoprobe, sandstone sio ₂ , nanocomposites	31
V. Nikulins, D. Malytskyy. Prediction of seismic impacts at the site of Plavinu HPP from a potential seismic source in Koknese (Latvia)	35
O. Liashchuk, Yu. Andrushchenko, Yu. Otruba. Experience of year-round infrasound and seismic observations at Vernadsky station	39
D. Malytskyy, D. Křížová. Seismic moment tensor and focal mechanism for the marsquake of Sol 1222 using high- and low-frequency waveform analysis	41
D. Křížová, J. Valenta. The polyphase Hronov-Poříčí fault and its seismotectonic activity ...	42
С. Анікеєв, В. Максимчук, Р. Кудеравець, Н. Пиріжок. Відображення антиклінальних та солянокупольних структур Закарпатського прогину у гравітаційному полі	43
С. Багрій, Е. Кузьменко, Л. Штогрин. Фактичні можливості методу ПІЕМПЗ з урахуванням останніх досліджень	47
М. Бакаржієва, С. Мичак, А. Марченко, М. Орлюк. Внутрішня будова та кінематика Звенигородсько-Братської зони розломів Українського щита за результатами магнітометричних даних	50
О. Гнилко Особливості тектонічної еволюції акреційної призми Українських Західних Карпат	54
Г. Гривняк, С. Гарасим Геодинамічні критерії та перспективи нафтогазоносності Волино-Подільської нафтогазоносної області	58
С. Дешиця, О. Сирожко Моделювання неусталених ЕМ полів в умовах негоризонтальних границь георозриву	62
В. Добров, А. Кушнір. Алгоритм візуалізації тривимірних геоелектричних моделей	66
В. Ігнатишин, А. Ігнатишин, М. Ігнатишин, Б. Купльовський, О. Вербицька, В. Прокопишин, О. Олещук, Т. Іжак², А. Рац. Геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину: астрофізичний аспект	69
В. Коболєв. Природа вогнених явищ під час Кримських землетрусів 1927 року	73

С. Кобрунов, О. Верпаховська. Мікросейсмічної моніторинг ГРП для родовищ України	77
І. Корчагін, М. Якимчук. Апробація частотно-резонансної технології обробки супутникових знімків на ділянці буріння свердловини на родовищі вуглеводнів у Харківській області	81
І. Корчагін, М. Якимчук. Результати додаткового обстеження мобільними прямопошуковими методами ділянок буріння пошукових свердловин на півночі Зімбабве ...	85
В. Корчін, О. Карнахова. Сучасна термобарична та геодинамічна еволюція земної кори Закарпатського прогину і зв'язок формування розвитку корисних копалин і корової сейсмічної активності регіону	89
С. Кравець, Д. Малицький, О. Асташкіна, А. Микита. Корекція меж частотного діапазону каналу сейсмоприймача СМ-3	93
Р. Кудеравець, А. Віват, І. Чоботок, Н. Пиріжок, А. Гавінський, М. Свідрак. Методичні особливості використання магніто- та геодезичних вимірювань на поселенні культури ліщастого посуду на горі Лисівка, м. Винники	97
Р. Кудеравець, В. Максимчук, І. Чоботок, Є. Накалов, Н. Пиріжок, І. Ярема, Д. Окіпняк, А. Острроверхов. Використання магнітометрів для виявлення вибухонебезпечних предметів	101
Р. Кудеравець, О. Романюк, І. Чоботок, В. Коляденко, В. Гринішак. Комплексні геофізичні дослідження Пнівського замку – оборонної споруди Покуття XVI-XVII ст.	105
І. Куровець, О. Зубко, І. Грицик, О. Приходько, Р.-Д. Кучер. Особливості формування ємнісно-фільтраційних властивостей порід-колекторів у відкладах Внутрішньої зони Передкарпатського прогину	109
Р. Кутас. Геотермічні умови і геодинаміка сейсмоактивної зони Вранча	113
А. Кушнір, Т. Бурахович, Є. Тонковид, А. Столпаков. Геоелектричні критерії прогнозу проявів вуглеводнів у надрах Переддобрудзького прогину	117
Я. Лазарук, М. Павлюк, О. Сапужак. Регенерація вуглеводневих покладів у нафтогазоносних басейнах України	120
В. Лисаченко, А. Залізівський, Є. Накалов, Є. Бріллінг. Використання даних РГС «Нижне Селище» для оцінки стану космічної погоди	124
О. Ляшук, Ю. Андрущенко, В. Осадчий. Оцінка енергетичних параметрів техногенних подій за результатами сейсмічного та інфразвукового моніторингу	128
І. Макаренко, О. Савченко, В. Старостенко, О. Легостаєва, О. Задирака. Густина неоднорідність земної кори Закарпатського прогину за результатами гравітаційного моделювання	132
В. Максимчук, С. Анікєєв, Р. Кудеравець, Н. Пиріжок. Тектонічна будова Закарпатського прогину за гравімагнітними полями	136
М. Мельник, З. Любинецький, Л. Каратаєва. Атмосферний інфразвук – провісник аномальних подій у сейсмічно активних регіонах	140
А. Назаревич, Л. Назаревич. Геодинаміка Карпатського регіону України і її відображення у сейсмічності та структурі рельєфу	144
А. Назаревич. Про субмеридіонально-дугові плани у структурі рельєфу і терейнову геодинаміку Українських Карпат	148

М. Орлюк, А. Марченко, А. Роменець, М. Бакаржісва. Розробка цифрових карт модуля індукції геомагнітного поля B для території України	152
М. Орлюк, А. Роменець, Т. Лебідь, І. Орлюк. Геомагнітні дослідження трипільського поселення «Ріпиця-1» біля м. Ржищів	156
М. Павлюк, І. Наумко, І. Куровець, А. Побережський. Петрофізика і геофізика в ІГГК НАН України: етапи становлення й розвитку	160
О. Підвірний, С. Дешиця. Апаратурні комплекси модельного ряду «Стадія_Mх» та їх програмні засоби	164
О. Підвірний, С. Дешиця, В. Коляденко. До питання оптимального збудження вимірювальних установок методу ЗСБ при проведенні приповерхневих досліджень ...	168
С. Поп, І. Шароді, Я. Кравчук. Прогноз впливу на геологічне середовище Свидовецького масиву створенням рекреаційно – туристичного комплексу	172
О. Русаков, Т. Лебідь. Природа магнітних аномалій грязьових вулканів западини Сорокіна, північно-східної частини Чорного моря	176
С. Савчук, Н. Каблак, І. Калинич, М. Ничвид. Застосування технології INSAR для моніторингу геодинамічних процесів (на прикладі Солотвинського солерудника)	180
А. Самсонов. Пріоритетні пошукові об'єкти на нафту та газ в Одеському регіоні	184
О. Сапужак, О. Романюк, О. Сирсєжко, В. Павлюк. Визначення пунктів буріння на питні води методом зондувань становленням електромагнітного поля	187
Л. Скакальська, А. Назаревич Багатопараметрична оцінка порід розрізів свердловин засобами теоретико-емпіричної прогнозної методики	191
В. Соловійов, М. Якимчук, І. Корчагін. Глибинні джерела формування метанових сипів у західній частині Чорного моря (за даними ЧР-сканувань)	195
Т. Сумарук, П. Сумарук, А. Роменець, О. Придатко. Моделювання вікових варіацій магнітного поля землі на Південноамериканській тектонічній плиті	199
К. Третяк, Д. Кухтар. Особливості моделювання швидкості руху льодовика Труз на основі даних метеорологічних та супутникових радіолокаційних спостережень	203
К. Третяк, І. Брусак, Р. Пронишин. Сейсмічність, спричинена змінами рівня води у Дністровському водосховищі	207
А. Церклевич, О. Шило, Є. Шило. Про роль тангенціальних масових сил, зумовлених переорієнтацією узагальненої фігури літосфери	211
В. Шлапінський, М. Павлюк, Я. Лазарук, О. Савчак, М. Тернавський. До питання про літологічний склад і поширення Турицької світи олігоцену Турицького субпокриву Магурського покриву	215
М. Якимчук, І. Корчагін. Результати обстеження прямопошуковими методами площі прогнозованого падіння метеориту на Близькому Сході	219
М. Якимчук, І. Корчагін. Рекогносцирувальне обстеження родовища золота Намойя в Демократичній Республіці Конго	223
М. Якимчук, І. Корчагін. До питання про інформативність супутникових та фото знімків: результати експериментів із зображеннями о. Оук на узбережжі Канади	227
Показчик авторів	231

Наукове видання

**ГЕОФІЗИКА І ГЕОДИНАМІКА:
ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ
ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Збірник наукових праць

Загальне редагування – В.Ю. Максимчук
Відповідальний за випуск – О.Я. Сапужак
Комп'ютерне верстання – Р.С. Кудравець, А.В. Назаревич

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

вул. Наукова, 3-Б, м. Львів, 79060
тел. +380 32 264 85 63, факс +380 32 264 97 77
e-mail: carp@cb-igph.lviv.ua, <http://www.cb-igph.lviv.ua>

Підписано до друку 29.09.2023 р.
Формат 70×100/16. Папір офсетний. Друк цифровий.
Умовн. друк. арк. 19,18. Обл.-вид. арк. 16,94
Наклад 150 прим.

Видавець і виготовлювач: ТОВ „Растр-7”
79005, м. Львів, вул. Кн. Романа, 9/1.
тел./факс: (032) 235 72 13
e-mail: rastr.sim@gmail.com www.rastr-7.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ЛВ № 22 від 19.11.2002 р.



ПАСТЕР

ISBN 978-617-8296-53-7



9 786178 296537