

УДК 910-2

Ігнатишин В.В.,
кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник
відділу сейсмічності Карпатського регіону
Інститут геофізики імені С.І. Субботіна
Національної академії наук України
доцент кафедри географії та туризму
Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II

Іжак Т.Й.,
кандидат географічних наук, доцент кафедри географії та туризму
Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II

Ігнатишин А.В.,
інженер пункту деформографічних спостережень «Королево»
відділу сейсмічності Карпатського регіону
Інститут геофізики імені С.І. Субботіна
Національної академії наук України

Ігнатишин М.Б.,
провідний інженер режимної геофізичної станції «Тросник»
відділу сейсмічності Карпатського регіону
Інститут геофізики імені С.І. Субботіна
Національної академії наук України

ЗВ'ЯЗОК ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕМІСІЇ НИЗЬКОЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ З ГЕОДИНАМІЧНИМ ТА СЕЙСМІЧНИМ СТАНАМИ ЗАКАРПАТТЯ У 2017 РОЦІ

У статті представлено результати комплексного геофізичного моніторингу на території Закарпатського внутрішнього прогину на режимних геофізичних пунктах спостережень у 2017 році. Проведено дослідження зв'язків варіацій параметрів геофізичних полів, зокрема електромагнітної емісії в діапазоні 2 та 5 кГц, із характеристиками сучасних горизонтальних рухів земної кори в зоні Оашського глибинного розлому, сейсмічною активізацією регіону. Відмічено особливості сейсмотектонічних процесів у Закарпатті, представлено пропозиції щодо перспектив геофізичних спостережень на геологічних структурах регіону.

Ключові слова: геофізичні спостереження, геодинамічний стан, землетрус, електромагнітна емісія, сейсмотектонічні процеси, Закарпатський внутрішній прогин.

В статье представлены результаты комплексного геофизического мониторинга на территории Закарпатского внутреннего прогиба на режимных геофизических пунктах наблюдений в 2017 году. Проведено исследование связей вариаций параметров геофизических полей, в частности электромагнитной эмиссии в диапазоне 2 и 5 кГц, с характеристиками современных горизонтальных движений земной коры в зоне Оашского глубинного разлома, сейсмической активизацией региона. Отмечены особенности сейсмотектонических процессов в Закарпатье, представлены предложения по перспективе геофизических наблюдений на геологических структурах региона.

Ключевые слова: геофизические наблюдения, геодинамическое состояние, землетрясение, электромагнитная эмиссия, сейсмотектонические процессы, Закарпатский внутренний прогиб.

Ignatyshyn V.V., Izhak T.Y., Ignatyshyn A.V., Ignatyshyn M.B. THE COMMUNICATION OF ELECTROMAGNETIC EMISSIONS OF LOW-FREQUENCY RANGE WITH GEODYNAMIC AND SEISMIC STATES OF TRANSCARPATIA IN 2017

The ecological state of Transcarpathia depends on the hydrological and geodynamic condition. Changes in the geodynamic state of the region can be caused by spontaneous geomechanical phenomena-landslides and earthquakes. The frequency of hydrological processes is different from the frequency of manifestation of local seismicity, but Transcarpathia is a region of Ukraine where local earthquakes may occur, with a intensity of 7-8 points on the MSK-64 scale. Recent tangible earthquakes were registered



respectively in 2006, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015. Geography of local earthquakes covers the whole territory of Transcarpathia. To solve the problem of the ecological state caused by seismic phenomena, it is urgent to study the geodynamics of the region (modern horizontal movements), seismic activity of the region. It is important to study the influence of factors that change the characteristics of the geodynamic and, therefore, seismic states of the region. Such factors are meteorological values and parameters of the hydrological state of the region, which can be accelerating or inhibiting elements of geophysical phenomena. Seismotectonic processes in the region - the bursts of the bark and local earthquakes cause changes in the geological structures (compression and expansion of the upper layers of the earth's crust), accompanied by changes in the physical characteristics of the rocks. These changes are manifested in variations in the parameters of the geophysical fields: the magnetic field, the radioactive background of the environment, which can be observed both before and after the seismic event. The connection of variations of electromagnetic emission in the range of frequencies 2-50 kHz with bark movements and registration of local earthquakes is noted. But the wide frequency range of electromagnetic emission monitoring does not solve the problem of identifying the priority of electromagnetic emission frequencies in the intervals of anomalies of the geodynamic and seismic states of the region. Therefore, it is important to carry out continuous monitoring of electromagnetic emissions of different frequencies, to analyze the connection with the seismicity of the region, in particular the low-frequency range (2-5 kHz) for the purpose of providing prognostic characteristics. Purpose: study of the connections of the geophysical field (electromagnetic emission) and the seismotectonic state of the Transcarpathian inner deflection based on the results of geophysical observations in 2017. The object of the study is the variation of electromagnetic emission and the seismotectonic state of the region. The subject of the study is the electromagnetic emission in the range of 2 kHz, 5 kHz, its variations in the intervals of rapid modern horizontal movements in the zone of Oashi deep fault. Correlation of periods of activation of the region's seismicity, elevated magnitudes of electromagnetic emissions in the range of 5 kHz and increase in the values of the kinematic characteristics of the modern horizontal movements of the Earth's crust in the zone of the Oashi deep fault have been noted. In this connection, actual geophysical monitoring of other potential seismically dangerous areas of the crust in the zone of the Transcarpathian internal deflection is actual.

Key words: geophysical observations, geodynamic state, earthquake, electromagnetic emission, seismotectonic processes, Transcarpathian inner deflection.

Постановка завдання. Екологічний стан Закарпаття залежить від гідрологічного та геодинамічного стану. Зміни характеристик гідрогеологічного стану залежать від метеорологічних чинників, зокрема інтенсивності атмосферних опадів, і можуть супроводжуватися повеннями, паводками, що приносили збитки народному господарству. Зміни геодинамічного стану регіону можуть бути причиною стихійних геомеханічних явищ-зсувів та землетрусів. Періодичність гідрологічних процесів відмінна від періодичності прояву місцевої сейсмічності, проте Закарпаття – регіон України, де можуть відбутися місцеві землетруси, інтенсивністю 7-8 балів за шкалою MSK-64. Останні відчутні землетруси були зареєстровані, відповідно, в 2006, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015 роках. Географія місцевих землетрусів охопе територію всього Закарпаття. Для вирішення проблеми екологічного стану, викликаного сейсмічними явищами, актуальним є дослідження геодинаміки регіону (сучасних горизонтальних рухів), сейсмічної активності регіону. Важливо вивчити вплив факторів, що змінюють характеристики геодинамічного, а тому і сейсмічного станів регіону.

Такими факторами є метеорологічні величини та параметри гідрологічного стану регіону, що можуть бути прискорюючим або гальмуючим елементом геофізичних явищ. Сейсмотектонічні процеси в регіоні – рухи кори та місцеві землетруси – викликають зміни в геологічних структурах (стиснення та розширення верхніх шарів земної кори), що супроводжуються змінами фізичних характеристик гірських порід. Ці зміни проявляються у варіаціях параметрів геофізичних полів: магнітного поля, радіоактивного фону середовища, що можуть спостерігатися як до сейсмічної події, так і після неї. Дещо менший період проводиться спостереження електромагнітної емісії. Відмічено зв'язок варіацій електромагнітної емісії в діапазоні частот 2-50 кГц із рухами кори та реєстрацією місцевих землетрусів. Але широкий частотний діапазон спостереження електромагнітної емісії не розв'язує задачі виявлення пріоритетності частот електромагнітної емісії в інтервалах аномалій геодинамічного та сейсмічного станів регіону. Тому важливо проводити безперервне спостереження електромагнітної емісії різних частот, аналізувати зв'язок із сейсмічністю регіону, зокрема низькочастотного діапазону

(2-5 кГц) на предмет виділення прогностичних характеристик. Геофізичний моніторинг Закарпатського внутрішнього прогину проводиться на режимних геофізичних станціях, розташованих на території Карпатського геодинамічного полігону.

Мета роботи – дослідження зв'язків геофізичних поля (електромагнітна емісія) та сейсмотектонічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за результатами геофізичних спостережень в 2017 році. *Об'єктом дослідження* є варіації електромагнітної емісії та сейсмотектонічний стан регіону. *Предметом дослідження* є електромагнітна емісія в діапазоні 2 кГц, 5 кГц, її варіації в інтервалах швидких сучасних горизонтальних рухів у зоні Оашського глибинного розлому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню екологічно небезпечних процесів на геологічних структурах Закарпаття присвячено багато публікацій, результати яких отримано на основі проведених наукових спостережень, зокрема режимних геофізичних вимірювань. Описано основні характеристики природних умов Закарпаття [1]. Геофізичний моніторинг Закарпатського внутрішнього прогину відмітив особливості геологічних процесів, вплив на них метеорологічних та гідрогеологічних факторів [2; 3]. Спостереження варіацій параметрів геофізичних полів у регіоні вказали на існування періодичності сейсмотектонічних процесів та їх взаємозв'язок [4–9]. Дослідження електромагнітної емісії в контексті зв'язку із сучасними горизонтальними рухами та проявом сейсмічної активізації проводяться не так давно та в діапазоні 2-50 кГц. Актуально дослідити ці зв'язки в різних частотних діапазонах: 2, 5; 12,5; 17 кГц.

Методика дослідження. Результати режимних геофізичних спостережень отримані на пунктах геофізичних спостережень, зокрема на режимній геофізичній станції «Тросник» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (Виноградівський р-н, с.Тросник). На РГС «Тросник» проводяться вимірювання величин електромагнітної емісії, магнітного поля, радіоактивного фону середовища та сейсмологічні спостереження. Вимірювання сучасних горизонтальних рухів проводяться

на пункті деформометричних спостережень «Королево» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна (сmt Королево, Виноградівського району, Закарпатської області), де змонтований горизонтальний кварцовий деформограф (напрямок схід-захід), із базою 24,5 м в 1998 році. Спостереження електромагнітної емісії проводяться за допомогою приладу РВИНДС-П-03 у діапазонах частот 2, 5 кГц, використовуються середньодобові значення величин електромагнітної емісії. Під час аналізу результатів вимірювання параметрів сучасних горизонтальних рухів розраховуються швидкості та прискорення рухів кори. Представлено результати досліджень параметрів геофізичних полів сейсмічності регіону за 2017 рік.

Спостереження та аналіз параметрів електромагнітної емісії в діапазоні 2-5 кГц на РГС «Тросник». 2017 р. Дослідження геофізичних полів на Карпатському геодинамічному полігоні поряд із спостереженням вектора магнітної індукції, параметрів радіоактивного фону середовища та вимірюванням параметрів електричного поля верхніх шарів земної кори продовжилося вимірюванням електромагнітної емісії. Відкриття природного імпульсного електромагнітного поля Землі дозволило проводити дослідження фізичних характеристик порід земної кори, виявляти зв'язок їх із небезпечними геомеханічними процесами. Прилад РВИНДС-П03 використовувався для проведення спостереження за електромагнітною емісією в широкому діапазоні. Проведення спостереження електромагнітної емісії в різних частотних діапазонах, зокрема 2 кГц, 5 кГц, необхідне для встановлення їх залежності від характеру сучасних горизонтальних рухів кори та сейсмічності регіону. Рухи кори відрізняються від землетрусів швидкістю і можуть супроводжуватися варіаціями величини електромагнітної емісії. Важливо виявити взаємозв'язок у різних діапазонах частот. Аналіз результатів спостережень вказує на взаємозв'язок параметрів геофізичних полів, електромагнітної емісії в діапазоні 2 кГц (рис. 1.1).

У січні 2017 на теренах Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 4 землетруси, більшість яких відбулися в першій половині місяця. Електромагнітна емісія в діапазоні



Рис. 1.1. Комплексний графік геофізичного моніторингу середовища в Закарпатському внутрішньому прогині за січень – серпень 2017 року: електромагнітна емісія в діапазоні 2 кГц (крива чорного кольору), рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (пунктирна лінія)



а)

б)

Рис. 1.2.: а) електромагнітна емісія в діапазоні 2 кГц (крива чорного кольору), сейсмічність (діаграма сірого кольору) Закарпатського внутрішнього прогину в лютому 2017 року; б) електромагнітна емісія (крива чорного кольору), сейсмічність (крива сірого кольору), сучасні горизонтальні рухи кори (пунктирна крива). Лютий 2017 року. РГС «Тросник», ПДС «Королево»

частот-2 кГц зростає в другій половині місяця. Максимальні величини електромагнітної емісії зареєстровано в інтервалі між двома сейсмічними подіями. Проаналізовано рухи кори в цей період, зв'язок із кількістю імпульсів електромагнітної емісії. Прискорення сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому інтенсивно змінювалося в першій половині місяця в інтервалі сейсмічної активізації регіону. У лютому 2017 року відмічено 11 землетрусів місцевого значення (рисунк 1.2.а).

Електромагнітна емісія середовища в діапазоні 2 кГц за період січня-серпня 2017 року має тенденцію до зменшення: на початку року в січні добова електромагнітна емісія характеризується високими порівняно з іншими

часовими інтервалами показниками. Характеристики горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому підвищені в січні-лютому 2017 року, травні-липні 2017 року. Очевидно, рухи кори істотного впливу на варіації електромагнітної емісії в діапазоні 2 кГц не роблять. Розглянуто зв'язок варіацій електромагнітної емісії в діапазоні 2 кГц та прояву місцевої сейсмічності (рис. 1.3).

Сучасні рухи кори в січні-серпні 2017 року супроводжувалися сейсмічністю в регіоні.

Варіації електромагнітної емісії в діапазоні 5 кГц та сучасні сейсмотектонічні процеси в регіоні. 2017 рік. Паралельно вимірюванню електромагнітної емісії в діапазоні 2 кГц на території Закарпатського внутрішнього прогину з метою дослідження взаємозв'язків



Рис. 1.3. Варіації електромагнітної емісії в діапазоні 2.кГц (крива чорного кольору), місцева сейсмічність (діаграма сірого кольору), рухи кори (пунктирна лінія) в Закарпатському внутрішньому прогині в січні-серпні 2017 року

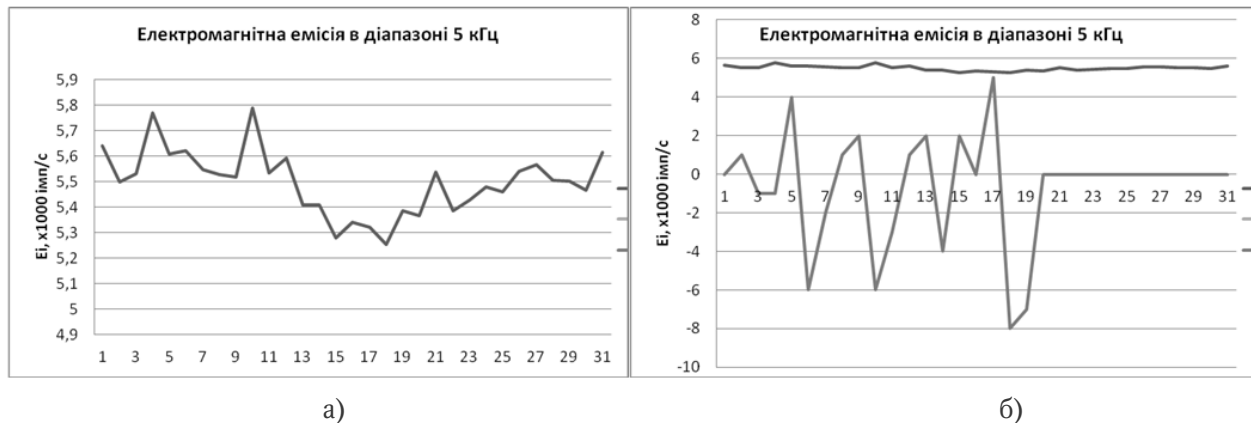


Рис. 2.1: а) електромагнітна емісія в діапазоні 5 кГц в січні 2017 року. Закарпатський внутрішній прогин; б) електромагнітна емісія (крива чорного кольору), рухи кори (пунктирна лінія). Січень 2017 року. РГС «Тросник»

параметрів геофізичних полів та сейсмотектонічних процесів проводилося вимірювання електромагнітної емісії в діапазоні 5 кГц. Спостереження проводилися на Режимній геофізичній станції «Тросник». Проведено помісячний аналіз варіацій геофізичних полів та рухів кори.

Вимірювання електромагнітної емісії проводиться в режимі 1 с щогодини, розраховується середньодобове значення, яке використовується для побудови графіків залежностей параметрів геофізичного поля від часу. Досліджується зв'язок варіацій параметрів електромагнітної емісії у вибраному діапазоні частот із сучасними горизонтальними рухами кори, виміряними на деформометричній станції «Королево», яка змонтована в штольні в зоні Оашського глибин-

ного розлому. Аналізуючи представлені графіки, відмічено варіації електромагнітної емісії в досліджуваному діапазоні частот (5 кГц), мінімальна електромагнітна емісія реєструвалась усередині місяця. У той же час рухи кори характеризуються коливаннями прискорення з невисокою амплітудою (рис. 2.1.б).

Електромагнітна емісія в діапазоні 5 кГц в регіоні спадає протягом місяця після високих значень на початку місяця (рисунку 2.2.а). Сейсмічність регіону активізується на початку та в другій половині місяця. Епіцентрально відстань землетрусів змінюється в інтервалі 7-175 км. Зв'язок часових інтервалів підвищених величин електромагнітної емісії із сейсмічними подіями спостерігається для близьких (мала епіцен-

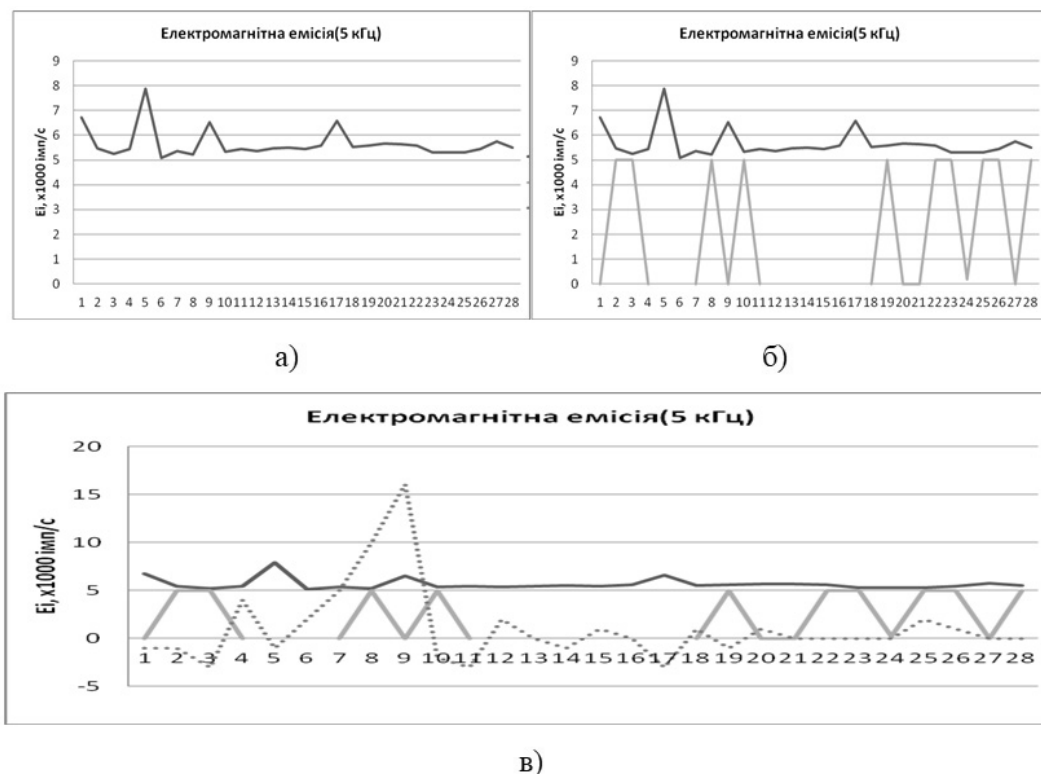


Рис. 2.2: а) електромагнітна емісія в діапазоні 5 кГц, РГС «Тросник». Лютий 2017 року; б) електромагнітна емісія (крива чорного кольору), сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору). Лютий 2017 року. Закарпатський внутрішній прогин; в) комплексний графік геофізичного моніторингу регіону: електромагнітна емісія (крива чорного кольору), сейсмічність (діаграма сірого кольору), параметри горизонтальних рухів кори (пунктирна лінія). Лютий 2017 року

тральна відстань) землетрусів (рисунок 2.2.б). Дослідження характеру руху кори в напрямку схід-захід відмітило кореляцію періодів активізації сейсмічності регіону, підвищених кінематичних характеристик геомеханічних процесів та варіацій величин електромагнітної емісії в діапазоні 5 кГц для подій малих епіцентральної відстаней (рисунок 2.2.в).

Висновки.

1. Закарпаття – регіон, територія якого розташована на Закарпатському внутрішньому прогині, що в геологічному плані є територією, де можливі прояви сеймотектонічних процесів. Представлено результати геофізичних спостережень у Закарпатському внутрішньому прогині за 2017 рік. Проведено дослідження зв'язку варіації електромагнітної емісії в діапазоні частот 2-5 кГц у зоні Оашського глибинного розлому.

2. Сейсмічність регіону у 2017 році представлена сейсмічними подіями малих магнітуд та енергетичного класу. Кількість зареє-

строваних землетрусів у 2017 році становить 189 сейсмічних подій. Проте не зареєстровано жодного відчутного місцевого землетрусу, що є вагомою характеристикою процесів розрядки напружено деформованого стану порід регіону. Відчутні місцеві землетруси (6 подій) були зареєстровані в липні 2015 року на території Тячівського району Закарпатської області.

3. Важливими даними геодинамічного стану регіону є спостереження за сучасними горизонтальними рухами в регіоні, зокрема на пункті деформетричних спостережень «Королево» (сmt Королево, Виноградівський район). У 2017 році зареєстровано стиснення гірських порід величиною -15×10^{-7} (-1500 нстр).

4. Досліджено варіації електромагнітної емісії в діапазоні 2 кГц, сейсмічності регіону, характеристики сучасних горизонтальних рухів у зоні Оашського глибинного розлому. Очевидно, рухи кори істотно впливають на варіації електромагнітної емісії в діапазоні 2 кГц не

роблять. Відмічено кореляцію періодів сейсмічної активності регіону та періодів аномальних змін характеристик рухів кори.

4. Відмічено кореляцію періодів активізації сейсмічності регіону, підвищених величин електромагнітної емісії в діапазоні 5 кГц та зростання величин кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів земної кори в зоні Оашського глибинного розлому. У зв'язку із цим актуально проведення геофізичного моніторингу: дослідження рухів земної кори, вимірювання електромагнітної емісії на інших потенціальних сейсмічно небезпечних ділянках земної кори в зоні Закарпатського внутрішнього прогину. Такими територіями є Тячівський, Хустський, Рахівський, Мукачівський райони. Якщо проведення вимірювання електромагнітної емісії можливе на об'єктах наукових установ НАН України, оскільки монтаж та робота необхідних приладів не вимагає певних вимог до місця встановлення, то для роботи деформометричних станцій необхідні певні вимоги, насамперед унікальність кварцових деформографів. По-друге, для встановлення деформометрів необхідні підземні виробки (штольні) на глибинах, що забезпечують стабільність температурного режиму, з низькою вологістю, що необхідно для функціонування сучасних приладів реєстрації. Такі вимоги до роботи деформометричних станцій пояснюють їх невелику кількість. На території України працюють дві деформометричні станції Відділу сейсмічності Карпатського регіону (ПДС«Королево») та Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (РГС«Берегово»).

5. Актуально розширення спектру геофізичних досліджень та географії місць спостережень за рахунок збільшення кількості геофізичних методів моніторингу середовища: гравітаційних, нахиломірних. Важливо отримати характеристики геофізичних процесів у південно-східній та північно-західній частині Закарпатського внутрішнього прогину, зокрема сучасних рухів земної кори, які в основному визначають сейсмічність регіону.

ЛІТЕРАТУРА:

1. IZSÁK TIBOR 2012/a: Kárpátalja. Természeti viszonyok [Закарпаття. Природні умови]. In. DÖVÉNYI Z. (szerk.): A Kárpát-medence földrajza.

MTA Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 942–948. ISBN 978 963 05 9281 9; ISSN 1787-4750.

2. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Ігнатишин М.Б. Зв'язок параметрів екогеофізичних полів та сейсмотектонічних процесів в Закарпатті // Матеріали Конференції «Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах», 1-2 червня 2017 р., смт. Верхнє Синьовидне. Львів: СПОЛОМ, 2017. 169 с.

3. Ihnatyshyn V.V., Ihnatyshyn M.B., Ihnatyshyn A.V., Ihnatyshyn V.V.(Jr.) . SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF SEISMICITY CARPATHIAN-BALKAN REGION IN 2015-2016. Scientific discussion» VOL 1, No 9 (2017) Scientific discussion (Praha, Czech Republic) The journal is registered and published in Czech Republic.

4. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б. Ігнатишин В.В. Геофізичні аспекти геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину // VII Всеукраїнська молодіжна наукова конференція-школа «Сучасні проблеми наук про Землю», проведена 19-21 квітня 2017 року в Навчально-науковому інституті Інституту геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ЦОП Глобус, 2017. 86 с.

5. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б. Ігнатишин В.В. Сучасні горизонтальні рухи в зоні Оашського глибинного розлому та сейсмічність Закарпаття // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства. Секція 5. Геологія і прикладна мінералогія». 24-26 травня 2017 року. Кривий ріг. Видавничий центр Криворізького національного університету. 161 с.

6. Сучасна геодинаміка та геофізичні поля Карпат і суміжних територій : монографія / К.Р. Третяк, В.Ю. Максимчук, Р.І. Кутас, І.І. Рокитянський, О.М. Гнилко, О.В. Кендзера, Р.С. Пронишин, Т.А. Климкович, В.Г. Кузнецова, Д.О. Марченко, О.М. Смірнова, О.В. Серант, А.І. Вовк, В.В. Романюк, А.В. Терешин; за заг. ред. К.Р. Третяка, В.Ю. Максимчука, Р.І. Кутаса. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 420 с. ISBN 978-617-607-763-3.

7. Вербицький Т.З., Кендзера О.В., Гнип А.Р., Пронишин Р., Вербицький С.Т. Вербицький Ю.Т. Дослідження сейсмічності Закарпаття та перспективи комплексного геофізичного моніторингу // Тези доповідей II Міжнародної наукової конференції «Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища», м. Київ, 8-10 жовтня 2001 року. К.: ВПЦ Київський університет, 2001. 74 с.

8. Прогноз зміни в часі енергії та кількості Закарпатських землетрусів. / Т. Вербицький, Ю. Вербицький та ін. // Праці наукового товариства ім. Шевченка. Том VIII. Геофізика. Львів, 2002. С. 140–144.

9. Вербицький Ю. Методика комплексного аналізу геофізичних полів у Закарпатті // Праці наукового товариства ім. Шевченка. Том VIII. Геофізика. Львів, 2002. С. 131–139.