

УДК 550.34+551.7.242(477.8)+553.98+528,28

А. В. НАЗАРЕВИЧ<sup>1</sup>, Л. Є. НАЗАРЕВИЧ<sup>2</sup>, В. Є. ШЛАПІНСЬКИЙ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, 79060, м. Львів, вул. Наукова, 3-б, тел. +38(032)2648563, ел. пошта nazarevych-a@cb-igph.lviv.ua

<sup>2</sup>Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, відділ сейсмічності Карпатського регіону, 79011, м. Львів, вул. Ярославенка, 27, тел. +38(032)2706100, ел. пошта nazarevych.l@gmail.com

<sup>3</sup>Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, 79060, м. Львів, вул. Наукова, 3-а

## СЕЙСМІЧНІСТЬ, ГЕОЛОГІЯ, СЕЙСМОТЕКТОНІКА І ГЕОДИНАМІКА РАЙОНУ ТЕРЕБЛЕ-РІЦЬКОЇ ГЕС (УКРАЇНСЬКЕ ЗАКАРПАТТЯ)

**Мета.** Метою роботи є провести комплексний аналіз сейсмічності, геології, сейсмотектоніки та різномасштабних геодинамічних процесів у районі Теремле-Ріцької ГЕС в Українському Закарпатті (23.35-23.87°S, 48.23-48.51°N) для уточнення оцінок геоecологічних ризиків. **Методика.** Методика досліджень – це комплексний аналіз сейсмічних, геологічних та геодезичних даних, зокрема з залученням сучасних методик та найновіших результатів досліджень, зокрема, даних про сейсмічність Карпатського регіону України за історичний період та період інструментальних спостережень, нових методик аналізу макросейсмічних полів та уточнення гіпоцентрії Закарпатських землетрусів, аналіз геології та тектоніки поширених тут приповерхневих покривів насувного типу, геоморфологічний аналіз особливостей рельєфу та сучасних рельєфотворчих процесів, проведення спеціальних геодезичних (зокрема моніторингових) досліджень (триангуляція, світловіддалемірні, GPS-дослідження) та аналіз отриманих даних. **Результати.** За геолого-тектонічними даними Теремле-Ріцька ГЕС розташована на геологічних структурах Буркутського (Поркулецького) покриву Українських Карпат, приблизно на 2 км південніше від лінії його контакту з Дуклянсько-Чорногірським (Дуклянським) покривом. Зона ГЕС знаходиться на відстані близько 16–18 км на північний схід від зони сейсмоактивного Закарпатського глибинного розлому (сутури) і на відстані близько 28–30 км від зони зчленування його з також сейсмоактивним Оашським меридіональним розломом Закарпатського прогину. За результатами сейсмологічних досліджень на заході району (на 23.43±0.03°S) простежена субмеридіональна глибинна (з вогнищами землетрусів до глибини 38–52 км) сейсмотектонічно активна зона контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія в Карпатському регіоні України. На півдні і південному сході сейсмоактивною (активність до глибин 31 км) є діагональна (північно-західно – південно-східного напрямку, аз. 117±5°) зона Закарпатського глибинного розлому. Центральна частина зони (район водосховища) є в сейсмічному відношенні порівняно слабоактивною. За макросейсмічними даними район ГЕС і водосховища зазнавав струшувань силою до 3–4 балів від історичних землетрусів у Чумальово (1935 р.) і Драгово (1937 р.), а також від Углянських (1978 р.) та Колочавського (2011 р.) землетрусів. Сейсмічна активність наявних тут приповерхневих (0–6 км) геологічних структур – покривів насувної кінематики є відносно невеликою (13 слабких землетрусів з  $M=0,8-2,2$  на територію розміром 26×30 км за 55 років). У прилеглий до Закарпатського глибинного розлому зоні простежена “сейсмофокальна” площа, яка занурюється від зони розлому (з глибини 6 км) під кутом 55±3° у північно-східному напрямку під карпатські структури (до глибини 32 км) і є індикатором сучасної залишкової активності процесу так званої “крокодилової тектоніки” в Карпатському регіоні України. **Наукова новизна.** Вперше проведено детальний комплексний аналіз сейсмічності, геології, сейсмотектоніки та різномасштабних геодинамічних процесів у районі Теремле-Ріцької ГЕС. Визначено основні особливості глибинно-просторового розподілу сейсмічної активності в районі досліджень, зокрема, встановлено наявність сейсмофокальної площини, що простягається по азимуту близько 110° вздовж Закарпатського глибинного розлому (на відстані 8–10 км на південь від майданчика ГЕС), занурючись від нього під Карпати з глибин 5–6 км і до глибин 20–30 км з кутом падіння близько 57°, що чітко ілюструє успадковану загасаючу активність процесів так званої “крокодилової тектоніки” в регіоні. Також встановлено наявність зони “сейсмічного затишшя” для землетрусів з  $M \geq 1$  у радіусі 7–9 км від майданчика ГЕС за період інструментальних спостережень (з 1961 року) і у радіусі 15 км для землетрусів з  $M \geq 2,5$  за останні 170 років. Оцінено реалізовану (3–4 бали за останні 170 років) і прогнозовану (до 5–7 балів) інтенсивність сейсмічних струшувань для майданчика ГЕС. Простежено зв'язок місцевої сейсмічної активності з наявними тут на глибинах 10–11 км зонами підвищеної провідності в земній корі. **Практична значущість.** Результати досліджень дають можливість оцінити ймовірні сейсмічні та деформаційні впливи на споруди Теремле-Ріцької ГЕС і водосховище, розробити на цій основі проект організації геофізичного і геодезичного геодинамічного моніторингу у зоні майданчика ГЕС з метою детального вивчення різномасштабних геодинамічних процесів на цій території і розробки необхідних інженерно-технічних заходів для забезпечення надійної та екологічно безпечної експлуатації ГЕС.

**Ключові слова:** сейсмічність; сейсмотектоніка; геодинамічні процеси; деформації; геологічна будова; покриви, район Теремле-Ріцької ГЕС; Українське Закарпаття.

**Вступ**

Теребле-Ріцька ГЕС розташована у долинах двох рік – Теребля (Вільшанське водосховище) та Ріка (приміщення ГЕС) у Закарпатті. Цим вона є свого роду унікальною – до турбін вода з водосховища подається через пробитий у тілі гірського хребта дериваційний тунель і напірний трубопровід.

Тектонічно район ГЕС належить до південно-східної частини центрального сегмента Українських Складчастих Карпат, геологічно – до зони Буркутського і Дуклянсько-Чорногорського покривів Карпат, геоморфологічно – до морфоструктур Полонини-Боржави і Полонини-Красної Полонинсько-Чорногірських Карпат (східної та західної їхніх частин відповідно).

Складний геодинамічний розвиток та, відповідно, геологічна будова Українських Карпат зумовили особливості їхньої сучасної геодинаміки, які й проявляються в сейсмічності цієї території. Це ж повною мірою стосується і досліджуваного тут району Теребле-Ріцької ГЕС, що демонструють наведені нижче результати проведеного нами комплексного аналізу.

Характерною особливістю будови Українських Складчастих Карпат, зокрема і району Теребле-Ріцької ГЕС, є наявність тут численних потужних покривів – насувів і складок, спричинених великими горизонтальними переміщеннями гірських мас в альпійську епоху ([Глубинное..., 1978; Геодинамика..., 1985; Литосфера..., 1987–1993; Тектонічна..., 1994; Крупський, 2001; Бойко та ін., 2003; Дослідження..., 2005; Гнилко, 2011] та ін.). Весь Карпатський регіон України характеризується помітною сейсмічною активністю [Каталог..., 1958–1975; Пронишин, Пустовитенко, 1982; Мельничук, 1982; Гофштейн, 1996; Назаревич, Стародуб, 2010; Назаревич, Назаревич, 2011]. Гірська частина Українських Карпат (Складчасті Карпати) є порівняно менш сейсмоактивною, ніж Закарпатський прогин, але за історичними даними тут у зоні Закарпатського глибинного розлому, що розділяє ці структурні одиниці, зафіксовано ряд 5-, 6-, 7-бальних землетрусів. Також значну кількість землетрусів (порядку 90 з  $K \geq 6$ , див. рис. 1) зареєстровано тут за період інструментальних спостережень (з 1961 р.) [Назаревич, Стародуб, 2010]. Сам район Теребле-Ріцької ГЕС (позначений на рис. 1 зеленим квадратом) також характеризується помітною сейсмічною активністю. На заході району ця активність пов'язана з виявленою нами (див. [Назаревич, Назаревич, 2011]) субмеридіональною глибинною сейсмотектонічно активною зоною контакту террейнів Алькапа і Тися-Дакія в Карпатському регіоні України. На півдні і південному сході району сейсмоактивною є відома діагональна зона Закарпатського глибинного розлому.

**Мета досліджень**

Метою роботи є провести дослідження й аналіз сейсмічності, геології, сейсмотектоніки та різномасштабних геодинамічних процесів у районі Теребле-Ріцької ГЕС в Українському Закарпатті (23.35–23.87°S, 48.23–48.51°N) для подальшого уточнення оцінок геоекологічних ризиків.

Актуальність цього дослідження полягає, зокрема, в тому, що якщо сейсмічність Закарпатського прогину вже порівняно досить детально проаналізована та описана (див., наприклад, [Пронишин, Пустовитенко, 1982; Мельничук, 1982; Назаревич, Назаревич, 2007а; Назаревич, Стародуб, 2010; Лозиняк та ін., 2011] та ін.), то на сейсмічність Складчастих Карпат (яка, відносно сейсмічності Закарпатського прогину, є досить незначною) звернено ще (за винятком їхнього Покутсько-Буковинського сегмента [Назаревич, Назаревич, 2007б]) порівняно мало уваги. А враховуючи наявність на цій території численних газо- і нафтопроводів і компресорних станцій, залізничних та автомобільних шляхів, тунелів, мостів та шляхопроводів, а також інших важливих об'єктів (у нашому випадку, Теребле-Ріцької ГЕС), та подальший економічний розвиток цієї території, уточнення тут рівня сейсмічної безпеки є важливим та актуальним науковим і практичним завданням. Так, за даними експлуатаційних організацій, магістральні трубопроводи на ділянках Долина – Воловець і Долина – Росош є найаварійнішими, і однією з причин такої підвищеної аварійності є, на нашу думку, наявні тут геодинамічні та сейсмотектонічні процеси.

**Методика**

Методика досліджень – це комплексний аналіз сейсмічних, геологічних та геодезичних даних, зокрема з залученням сучасних методик та найновіших результатів досліджень, зокрема, даних про сейсмічність Карпатського регіону України за історичний період та період інструментальних спостережень, нових методик аналізу макросейсмічних полів та уточнення гіпоцентрії Закарпатських землетрусів, аналіз геології та тектоніки поширених тут приповерхневих покривів насувного типу, геоморфологічний аналіз особливостей рельєфу та сучасних рельєфотворчих процесів, проведення спеціальних геодезичних (зокрема моніторингових) досліджень (тріангуляція, світловідалемірні, GPS-дослідження) у зоні Теребле-Ріцька ГЕС та аналіз отриманих даних.

**Результати****Загальна тектонічна будова та геодинаміка літосфери Карпатського регіону України**

Загальна будова Українських Карпат. Основні дані про глибинну будову Українських Карпат отримано геофізичними методами, передусім пройденими вхрест їх простягання профілями

КМЗХ-ГСЗ РП-1 (Чоп – Рудки), геотраверсом II (на території України – профіль Берегово – Долина – Кременець), профілем Рахів – Тлумач [Глубинное..., 1978], PANCAKE (ДОБРЕ-3) [Starostenko et al., 2013], а також рядом інших регіональних профілів (РП-4, РП-5, РП-10, РП-11, РП-17 [Глубинное..., 1978; Литосфера..., 1987-93; Тектонічна..., 1994; Бойко та ін., 2003]). За цими даними тут простежуються такі структурні поверхні: границя  $K_0$  – підшва крейдову-палеогенових флішових покривів і лусок (покривля автохтону, на глибинах від 2–3 до 5–9 км і з швидкостями до 5,2–5,6 км/с); границя  $K_1$  – підшва фундаменту – покривля “гранітів” (на глибинах 12–16 км і з швидкостями 5,8–6,4 км/с); границя  $K_2$  – на глибинах від 18–22 до 30 км і з швидкостями порядку 6,8 км/с; границя К-М – на глибинах 30–45 км (з швидкостями нижче від неї 7,6–7,7 км/с); границя М – на глибинах 53–65 км (з швидкостями нижче від неї 8,1 км/с). Також трасується кілька розломів карпатського (Закарпатський, Славський, Передкарпатський) та поперечного (Рахівсько-Надвірнянський та ін.) простягання.

Загальна геодинаміка Українських Карпат. Українські Карпати разом з прилеглими територіями Закарпаття і Передкарпаття є регіоном достатньо складної сучасної геодинаміки, значною мірою успадкованої від попередніх етапів геодинамічного розвитку. За даними повторних високоточних нівелювань у Карпатському регіоні України [Сомов, 1974; Демедюк та ін., 1998; Дослідження..., 2005] швидкість сучасного росту гірської системи Карпат становить 1–2 мм/рік, а у верхів'ях р. Тиси – до 3–4 мм/рік, Чоп-Мукачівська западина (північно-західна частина Закарпатського прогину) має швидкості вертикальних рухів у середньому  $\pm 0,2$ – $0,4$  мм/рік, тобто на фоні гір вона частково опускається з різною швидкістю диференційовано для окремих блоків земної кори, розділених численними розломами субкарпатського, антикарпатського та діагонального, передусім меридіонального простягання.

Чоп-Мукачівська западина за останні 2 млн років опустилася місцями на 500 м. Більш виражені опускання спостерігаються (зокрема і досьогодні) у смузі Чоп – Мукачеве – Свалява, де вони супроводжуються горизонтальним розтягом у напрямку, близькому до антикарпатського [Демедюк та ін., 1998]. Решта регіону, яка зазнає вертикальних здіймань, перебуває у стані субгоризонтального стиску у діагональному північно-східному напрямку [Назаревич, Назаревич, 2004; Дослідження..., 2005;]. На думку Ю. Крупського [Крупський, 2001] та ряду інших дослідників, тепер територія Карпатського регіону знаходиться наприкінці орогенної стадії розвитку.

На сучасному етапі в Карпатському регіоні України одночасно діють кілька різнорангових (глобальний, регіональний, субрегіональний) геодинамічних процесів (див. [Назаревич, Назаревич, 2002, 2004, 2007, 2012, 2015; Nazarevych, Nazarevych, 2006]). Як уже відзначалося, основним з них є загальний стиск (із здійманням) карпатських

структур, спричинений планетарним плитово-тектонічним процесом в Альпійському поясі Європи – рухом на північ – північний схід Африканської плити і тиском її на гірські структури Альп, Карпат і Динарид через систему мікроліт і терейнів. Зокрема, на український сегмент Східних Карпат з південного заходу діють [Назаревич, Назаревич, 2000, 2002, 2004, 2007, 2012, 2015; Nazarevych, Nazarevych, 2006; Назаревич та др., 2007; Лозиняк та ін., 2009] наявні тут (див. [Гнилко, 2011, 2016]) тектонічні структури терейнів Алькапи (Панонська западина і Чоп-Мукачівська западина Закарпатського прогину) і Тисії-Дакії (Апусені, Трансільванія і Солотвинська западина Закарпатського прогину). На цей загальний процес накладається вплив астеноліта під Паннонією [Чекунов, 1988; Кутас, 1978; Литосфера..., 1987–93] і ротаційна [Третяк, Вовк, 2012] (субширотна східна) складова руху терейну Алькапа, який, передаючи у північно-східному напрямку тиск від Східних Альп, своїм північно-східним клином (Чоп-Мукачівською западиною) вклинюється між Тисією-Дакією і Українськими Карпатами, створюючи спрямований приблизно по нормалі до свого краю тиск – діагональний північно-східний у близькій до району Теремле-Ріцької ГЕС зоні Закарпатського розлому (район н.п. Драгово – Міжгір'я) і більш близький до субширотного в зоні Оашського розлому (район південніше Драгова і до Хуста) [Назаревич, Назаревич, 2004, 2007; Назаревич и др., 2007]. Саме цей ортогональний тиск в альпійську епоху спричинив формування Українських Карпат по типу “крокодилової тектоніки” [Назаревич, Назаревич, 2002, 2011, 2013; Павлюк, Медведєв, 2004; Nazarevych, Nazarevych, 2006] – насування приповерхневих (на глибинах до 5–7 км, а можливо і глибших) горизонтів осадових покривних товщ у північно-східному напрямку від Паннонії на злегка занурюваний край Східноєвропейської платформи і підсування (затягування) у цьому ж напрямку під нього глибинних (15?–25–37–55? км) реологічно ослаблених підвищеними температурними, тріщинуватістю і глибинними високотемпературними флюїдами в'язко-пластичних глибинних горизонтів кори. Також тут діє додаткова північно-східна складова, генерована вклинюванням уздовж зони Тессейре-Торнквіста південно-східним краєм (клином) Західноєвропейської платформи [Назаревич, Назаревич, 2011, 2015], це чітко показують дані про сучасні рухи земної кори в Карпатському регіоні України за результатами геодезичних і GPS-вимірів [Висотенко, 2010]. Цей останній процес успадкований тут ще від постальпійського етапу, про що свідчать результати польових тектонофізичних досліджень [Віхоть та ін., 2011]. На складній тектонічній, зокрема вертикально розшарованій реологічній структурі Карпат всі ці тиски трансформуються також у диференційовані вертикальні рухи блоків кори (горст-грабенова “клавішна тектоніка”), про це свідчать дані аналізу глибинної будови кори ([Крупський, 2001; Шлапінський, 2015] та ін.), структури і морфології

рельєфу Карпат [Кравчук, 2008; Free..., 2015] (див. також нижче).

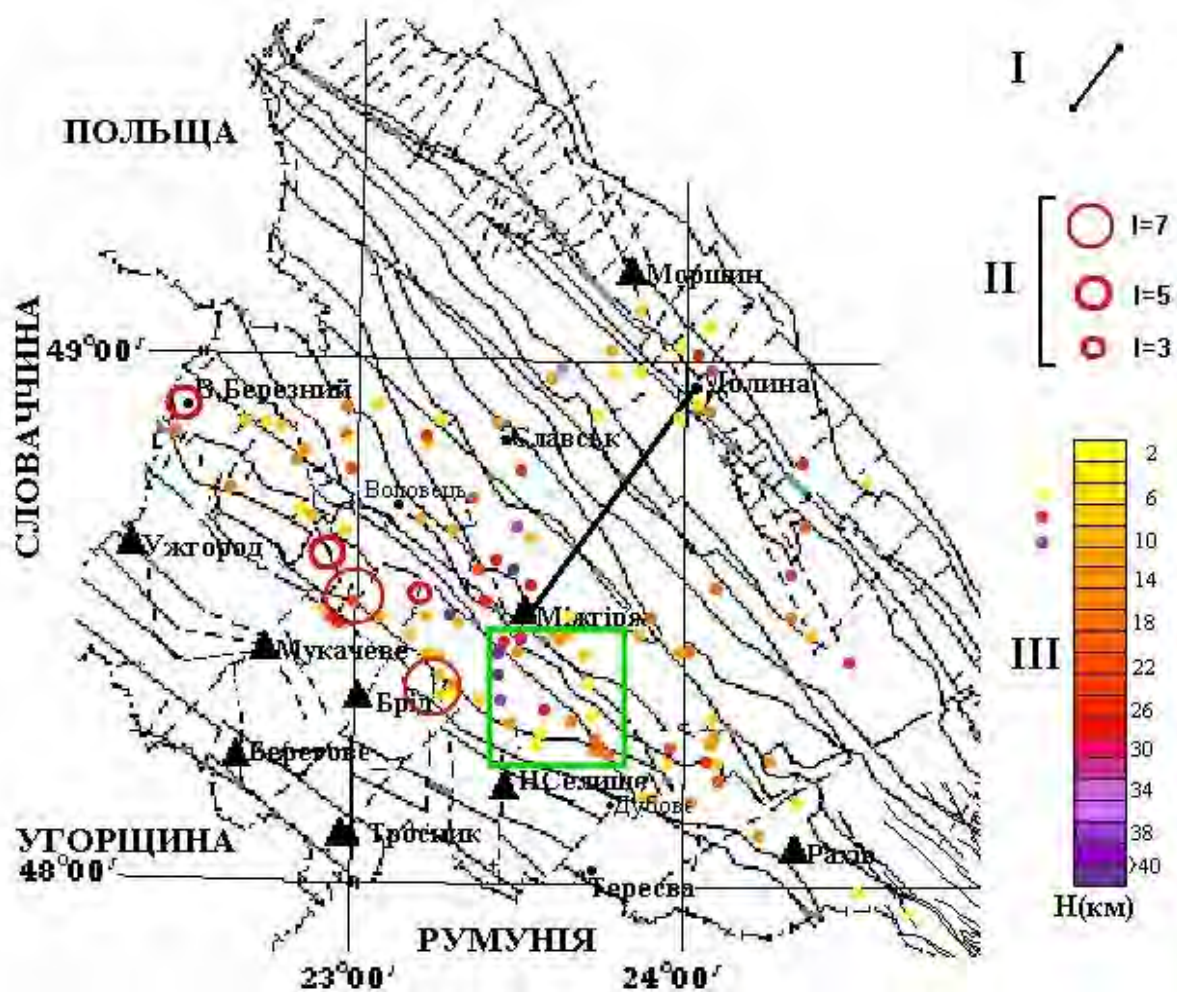
Що стосується геодинамічних та сейсотектонічних процесів у досліджуваному районі Теремле-Ріцької ГЕС, то вони генетично визначаються описаною тут нами коротко загальною геодинамікою Карпатського регіону та її геомеханічною трансформацією на сформованих у процесі багатовікового розвитку тектонічних структурах кори району [Назаревич, Назаревич, 2002, 2011, 2013; Назаревич, 2006; Nazarevych, Nazarevych, 2006].

#### Геологічна будова району Теремле-Ріцької ГЕС

Загалом за літолого-фаціальними ознаками та історією геологічного розвитку у структурі

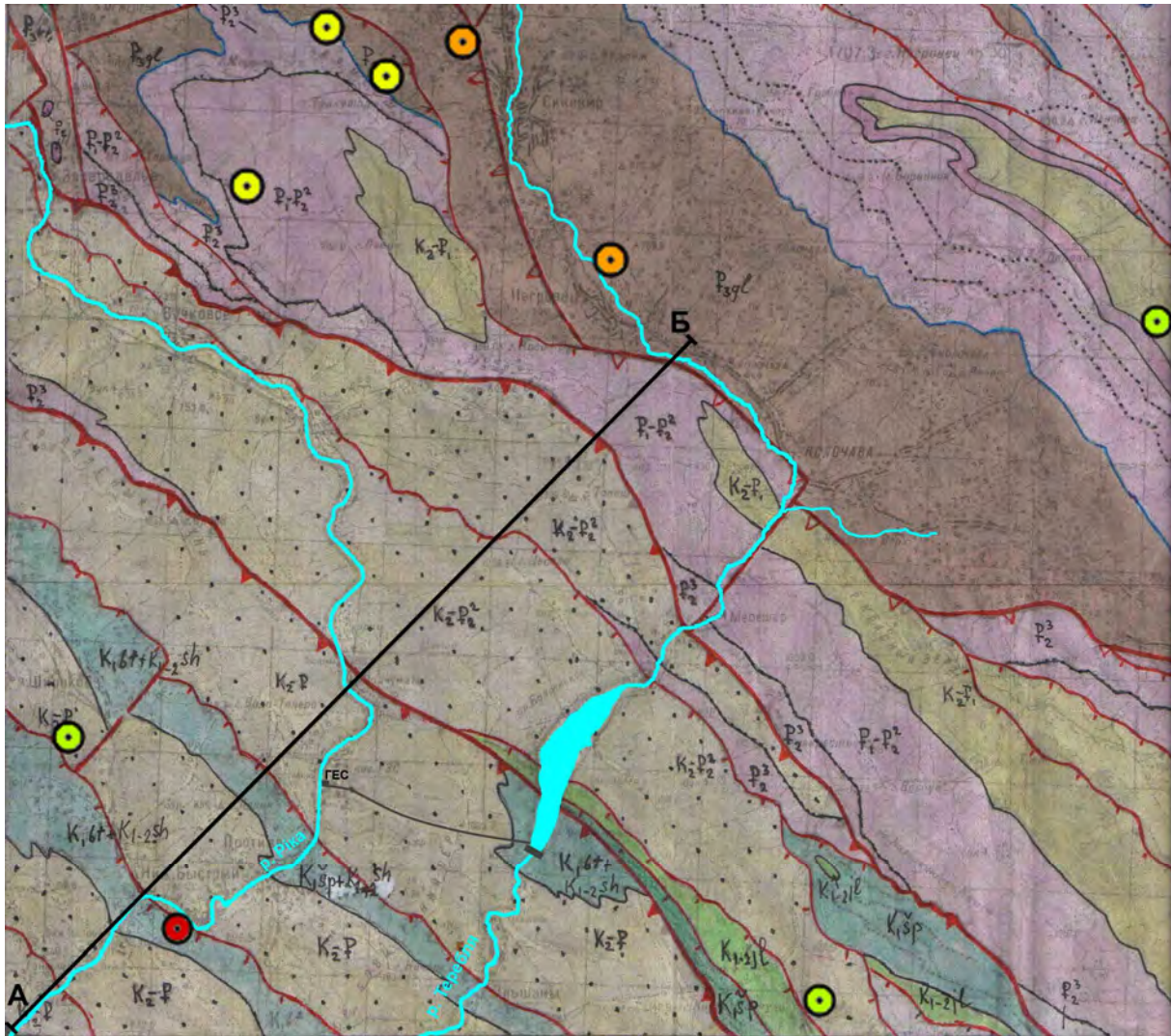
Складчастих Карпат (де розташована Теремле-Ріцька ГЕС) виділяють низку структурно-тектонічних зон, кількість та назви яких є різними у різних схемах тектонічного районування. Основні з них: Скибова, Кросненська, Магурська, Чорногірська, Рахівська, Поркулецька, Пенінська і зона Мармароських скель [Тектонічна..., 1994; Крупський, 2001, Шлапінський, 2015]. Вони мають добре виражену лускувато-покривну (скибову) будову.

Теремле-Ріцька ГЕС розташована у зоні зчленування Буркутського (за іншими схемами районування – Поркулецького) і Дуклянсько-Чорногірського (Дуклянського) покривів Українських Карпат, які складені тут відкладами крейди – палеогену.

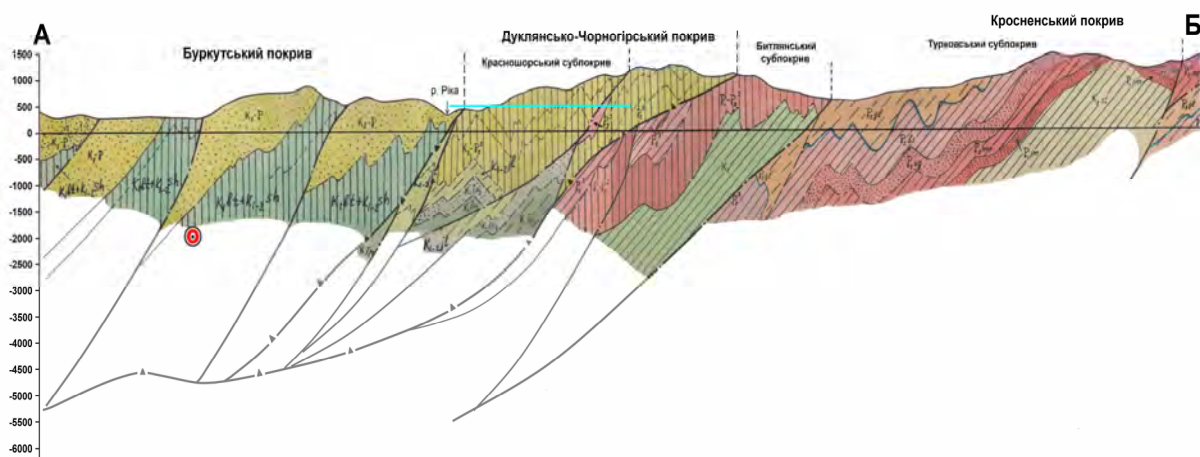


**Рис. 1.** Сейсмічність Українських Складчастих Карпат на картооснові з програми “Нуро-Марс” (основні тектонічні структури регіону за [Тектоническая..., 1986]) (I – сейсмогеологічний профіль Міжгір’я – Долина (див. [Бойко та ін., 2003]); II – епіцентри низки історичних землетрусів з позначенням їхньої бальності; III – епіцентри інструментально зареєстрованих землетрусів та шкала їхніх глибин) (зеленим квадратом позначено район Теремле-Ріцької ГЕС)  
**Fig. 1.** Seismicity of the Ukrainian Folded Carpathians on the map of “Нуро-Марс” software (major tectonic structures of the region by [Tectonic..., 1986]) (I – seismic-geological section Mizhgir’ya – Dolyna (see in [Boyko et al., 2003]); II – epicenters of number of historical earthquakes with of indication of their intensity; III – epicenters of instrumentally recorded earthquakes and the scale of their depth) (green square mark the Tereblye-Rika HPS area)





**Рис. 2.** Геологічна будова району Теребле-Ріцької ГЕС (фрагмент карти, пояснення в тексті)  
**Fig. 2.** Geological structure of Tereblya-Rika HPS area (fragment of the map, explanations are in the text)

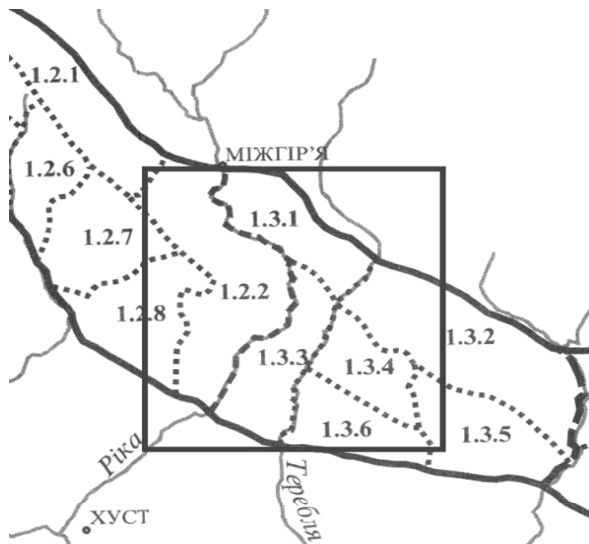


**Рис. 3.** Геологічний розріз по профілю Нижній Бистрий – Колочава (район Теребле-Ріцької ГЕС)  
 Склали: В. Кузовенко, В. Шлапінський. Тут: — — проекція на розріз Вільшанського водосховища на ріці Тереблї; ● — вогнище неглибокого землетрусу в зоні профілю (інші пояснення в тексті).

**Fig. 3.** Geological section Nyzhniy Bystryy – Kolochava (Tereblya-Rika HPS area)  
 Authors: V. Kuzovenko, V. Shlapinskyi. Here: — — projection of Vilshany reservoir on the Tereblya river to the section; ● — shallow earthquake focus in the profile zone (other explanations are in the text)



частина хребта у межиріччі рік Теремлі і Ріки між н.п. Синевир, Негровець, Колочава, Мерешор і Міжгір'я, Запереділля, Вучкове (див. рис. 6)); у центрі – морфоструктура Бовцанського Верху (1.3.3, субмеридіональний хребет у межиріччі рік Теремлі і Ріки між н.п. Мерешор, Вільшани, Забрідь, Драгово і Противень, Березово, Горінчево); на північному сході та сході – морфоструктура Топасу-Сигланського (1.3.2, гірський масив між н.п. Морешор, Колочава, Німецька Мокра і долиною річки Лужанка (східна частина)); південніше від неї (на південний схід від водосховища ГЕС) – морфоструктура Манчулу (1.3.4, у трикутнику між н.п. Мерешор, Вільшани, Пригідь); ще далі на південний схід – Угольська морфоструктура (1.3.6, у зоні між н.п. Вільшани, Драгово, Росош, Фонтиняси, Пригідь), яка прилягає до зони Закарпатського глибинного розлому. Аналіз особливостей рельєфу цих морфоструктур у зв'язку з тектонікою та геодинамікою району наведено далі.



**Рис. 4.** Картохема морфоструктур Полонинсько-Чорногірських Карпат [Кравчук, 2008] (фрагмент) району Теремлі-Ріцької ГЕС (позначено прямокутником); інші пояснення – в тексті

**Fig. 4.** Map-scheme of Polonyna-Chornogora Carpathians morphological structures [Kravchuk, 2008] (fragment) in Tereblya-Rika HPS area (marked by rectangle); other explanations are in the text

#### Сейсмічність і сейсмотектоніка району Теремлі-Ріцької ГЕС

Досліджуваний район Теремлі-Ріцької ГЕС в Українському Закарпатті (23.35-23.87°S, 48.23-48.51°N) характеризується своїми особливостями сейсмічності.

За історичний період [Евсеев, 1969; Костюк та ін., 1997] на південному, південно-східному та південно-західному пограниччі району відомі землетруси 1867, і 1872 рр. у Довгому (з  $M=4,2/4,3$ ,  $K=11,6/11,7$ ,  $I_0=6/7$  балів), 1880, 1886, 1911 рр.

у Вільхівцях – Нересниці (з  $M=3,7/3,0/3,5$ ,  $K=10,7/9,4/10,3$ ,  $I_0=6/5/5$  балів), 1894, 1930 рр. в Теремлі (з  $M=3,8/3,0$ ,  $K=10,8/9,4$ ,  $I_0=6/5$  балів), 1935 р. в Чумальово (з  $M=4,1$ ,  $K=11,4$ ,  $H=8$  км,  $I_0=6$  балів) (рис. 5, а), 1937 р. у Драгово (з  $M=3,3$ ,  $K=10,0$ ,  $H=7$  км,  $I_0=6$  балів) (рис. 5, б).

За макросейсмічними даними район ГЕС і водосховища зазнавав струшувань силою до 3–4 балів від історичних землетрусів у Чумальово (1935 р.) і Драгово (1937 р.) (рис. 5, а, б) [Евсеев, 1969], а також від Углянських (1978 рік,  $K=10,5/M=3,6$  і  $K=11,4/M=4,1$  [Пронишин и др., 1982]) та Колочавського (2011 рік,  $K=10,3/M=3,5$ ) (рис. 5, в) [Вербицкий и др., 2012] землетрусів.

За даними інструментальних сейсмологічних спостережень нами (Назаревич Л. С., Назаревич А. В.) детально проаналізовано глибинно-просторові особливості сейсмічності та сейсмотектоніки досліджуваного району і виявлено основні різноглибинні сейсмогенні структури та зони. Для цих досліджень використано нові геоінформаційні технології, комп'ютерну обробку сейсмічних даних та напрацьовані нами методики уточнення координат і глибин вогнищ місцевих закарпатських землетрусів (методика з урахуванням усереднених кінематичних нев'язок та методика з використанням розрахункового (теоретичного) годографа, побудованого нами за даними про швидкісну будову літосфери регіону [Назаревич, Назаревич, 2002, 2003, 2004а, 2004б, 2011, Назаревич та ін., 2010, 2011]). З використанням цих методик було перевизначено (значно уточнено) координати і глибини (глибини здебільшого були визначені вперше) вогнищ місцевих землетрусів. Ці методики разом з методами статистичного "очищення" даних від похибок дають можливість значно уточнити визначення вказаних параметрів – нев'язки по глибині та координатах зменшуються, порівняно з попередніми визначеннями, в кілька разів (з  $\pm 3-5$  км до  $\pm 0,8-1,2$  км по координатах і з  $\pm 5-7$  км і більше (часто з 0–33 км) до  $\pm 1,5-2$  км по глибині). Це дало можливість детальніше проаналізувати сейсмічність і сейсмотектоніку усього Карпатського регіону та конкретних сейсмоактивних зон (у нашому випадку – району Теремлі-Ріцької ГЕС), виявити певні характерні особливості локального та регіонального сейсмотектонічного процесу, а використання сейсмогеологічних та геологічних розрізів у районах досліджень дало змогу детальніше дослідити наявні тут сейсмоактивні тектонічні структури та зони.

Основні результати наших досліджень щодо району Теремлі-Ріцької ГЕС такі. На заході району (на  $23.43 \pm 0.03^\circ S$ , див. рис. 6 і 7) детальніше простежена виявлена нами раніше [Назаревич, Назаревич, 2012, 2013] субмеридіональна глибинна (з вогнищами землетрусів до глибини 52 км) сейсмотектонічно активна зона контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія в Карпатському регіоні України. На півдні і південному сході сейсмоактивною (активність до глибин 31 км) є діагональна (північно-західно – південно-східного напрямку, аз.  $117 \pm 3^\circ$ ) зона Закарпатського глибинного розлому (рис. 6, 7). Центральна частина зони (район

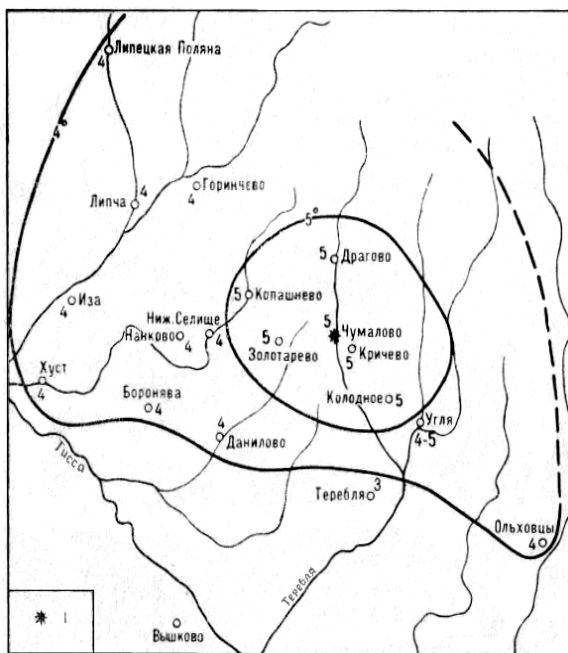


водосховища) є в сейсмічному відношенні порівняно слабоактивною.

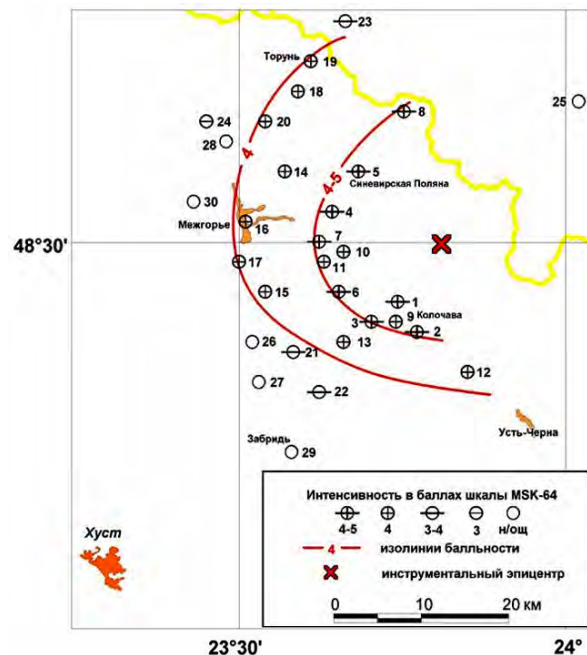
Щодо загальних особливостей глибинного розподілу сейсмічної активності досліджуваного району в основній (0–31 км) сейсмогенній товщі кори (див. [Назаревич, Назаревич, 2012]), то тут ця активність проявляється на різних горизонтах (тектонічних ярусах, див. рис. 6 і 7). Помітну активність (9 вогнищ) проявляють приповерхневі (1–3 км) (див. також рис. 2 і 3) яруси покривів, насувів і складок, такого ж порядку активність (11 вогнищ, див. рис. 6 і 7) характерна і для більш глибинних (3–6 км) горизонтів (див. рис. 3) цих структур.

Нижче границі  $K_0$  (6–7 км) і до глибини 10 км активність практично відсутня (1 вогнище поблизу Закарпатського розлому, див. рис. 6).

Зате на глибинах 10–15 км така активність більш виражена (5 вогнищ). На ще більших (від 15 км) глибинах і трохи нижче (до 25 км) простеженої тут (на глибинах 18–20 км, див. [Бойко та ін. 2003]) границі  $K_{1,2}$ , у так званому “базальтовому” шарі активність також помітна (5 вогнищ), вона зосереджена на півдні району, поблизу зони Закарпатського розлому. І ще 4 вогнища наявні (переважно також на півдні) у глибинах “базальтового” шару (глибини 29–31 км).



а



б



в

**Рис. 5.** Макросейсмічні поля відчутних землетрусів району Теребле-Ріцької ГЕС а – 1935 р. в Чумалово (з  $M=4,1$ ,  $K=11,4$ ,  $H=8$  км,  $I_0=6$  балів) [Евсеев, 1969]; б – 1937 р. у Драгово (з  $M=3,3$ ,  $K=10,0$ ,  $H=7$  км,  $I_0=6$  балів) [Евсеев, 1969]; в – 2011 р. у Колочаві ( $M=3,5$ ,  $K=10,3$ ,  $H=9,1$  км,  $I_0=5\div 5,5?$ ) [Вербицкий и др., 2012]

**Fig. 5. Macroseismic fields of Tereblya-Rika area tangible earthquakes**

a – Chumal'ovo 1935 ( $M=4.1$ ,  $K=11.4$ ,  $H=8$  km,  $I_0=6$ ) [Evseev, 1969]; б – Dragovo 1937 ( $M=3.3$ ,  $K=10.0$ ,  $H=7$  km,  $I_0=6$ ) [Evseev, 1969]; в – Kolochava 2011 ( $M=3.5$ ,  $K=10.3$ ,  $H=9.1$  km,  $I_0=5\div 5.5?$ ) [Verbytskyy et al., 2012]

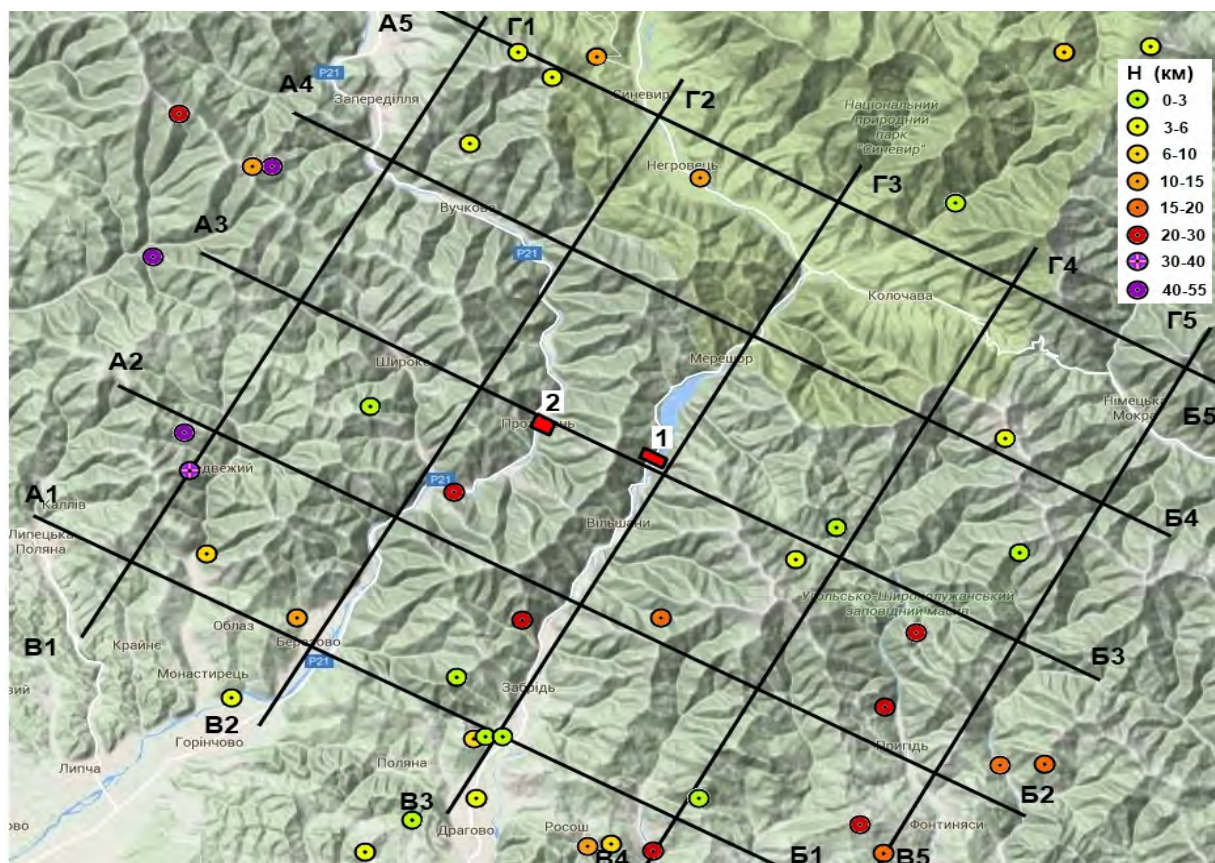


Детальніший аналіз сейсмічності й сейсмотектоніки досліджуваного району проведено з урахуванням основних діючих у Карпатському регіоні України геодинамічних процесів (перелічених у порядку спадання їх впливу) – діючого з боку Закарпатського прогину стиску вхрест Карпат у північно-східному напрямку, тиску з боку зони контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія (Оашського глибинного розлому в Закарпатському прогині) у північно-східному та східному напрямку, а також трансльованого через Карпатські структури тиску з боку південно-східного закінчення (клина) Західно-європейської платформи, спрямованого у південно-східному напрямку. Тому спочатку проаналізуємо просторовий розподіл сейсмічності по профілях В1-Г1 – В5-Г5 навхрест Карпат, котрі перетинають карпатські структури (рис. 7, е-и), а потім додатково розглянемо особливості глибинно-просторового розподілу сейсмічної активності вздовж цих структур.

Аналізуючи глибинно-просторовий розподіл сейсмічності західної частини досліджуваного району (див. рис. 6 і профіль В1-Г1 на рис. 7, е), бачимо певну сейсмічну активність глибинних частин (землетруси на глибинах 3–6 км у південно-

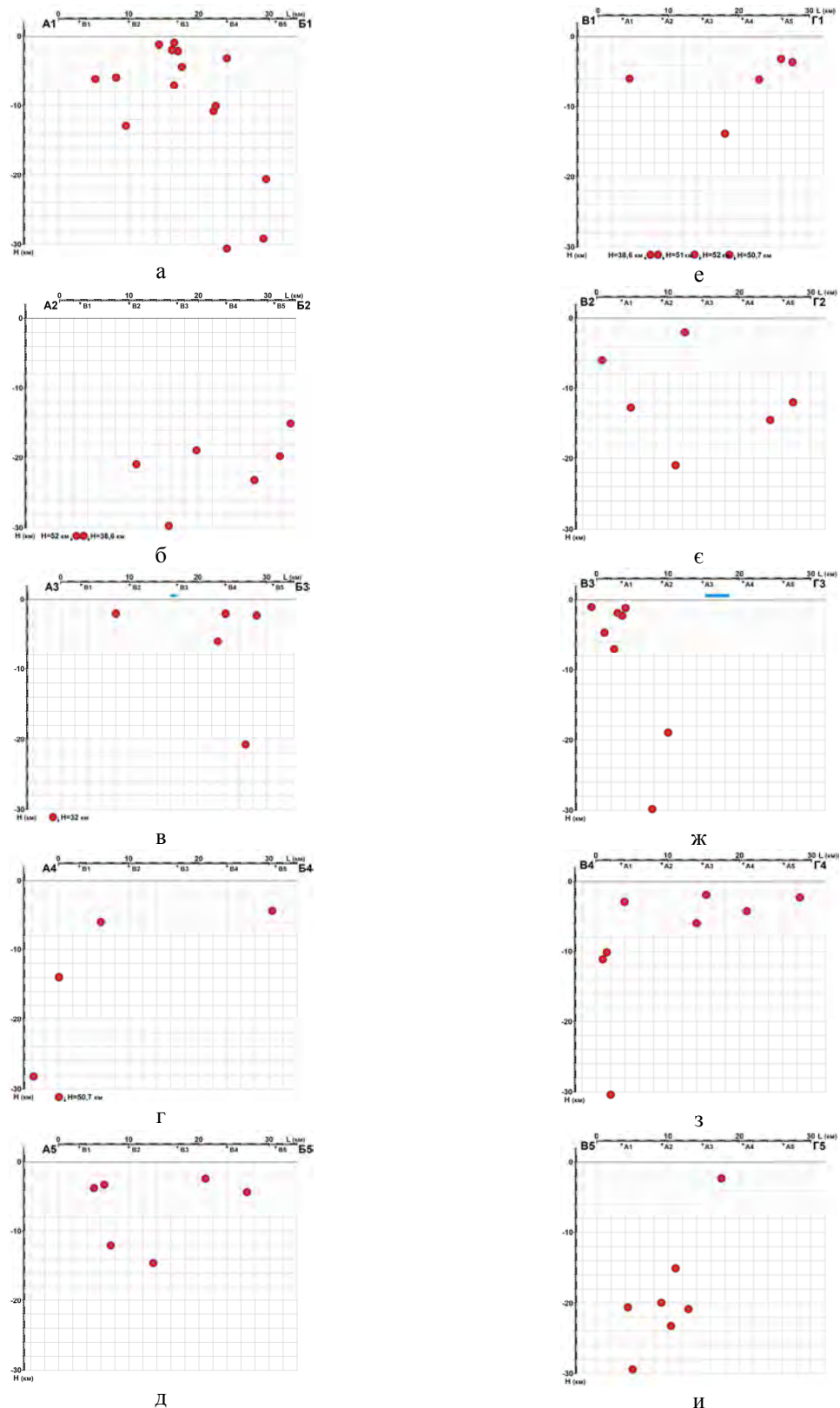
західній та північно-східній зонах профілю, у зонах Буркутського та Кросненського покривів) наявних тут насувів і складок верхнього ярусу (див. рис. 3). Одне вогнище землетрусу на глибині 14 км вказує на сейсмічну активність виділених у [Бойко та ін., 2003] піднасувних структур умовного “фундаменту” в цьому районі. І кілька землетрусів з глибинами вогнищ 38–52 км свідчать про сейсмічну активність простеженої тут [Гнилко, 2011] зони контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія у зоні розташованої тут на глибинах до 52–55 км (за [Глубинное..., 1978; Литосфера..., 1987–93; Бойко та ін., 2003]) границі Мохо.

Локалізований на 6,5 км східніше (рис. 6) профіль В2-Г2 показує помітно іншу картину глибинно-просторового розподілу сейсмічної активності (рис. 7, е). Сейсмічна активність приповерхневих (0–6 км) насувів і складок тут майже відсутня (одне вогнище на глибині 2 км у центральній частині профілю). Натомість ланцюжок із трьох вогнищ з глибинами 6, 12,5 і 21 км у південній частині профілю простежує наявну тут, за нашими даними, певну “сейсмофокальну зону”.



**Рис. 6.** Сейсмічність району Теребле-Ріцької ГЕС (на картооснові Google (з рельєфом)) Тут: кола з крапками – епіцентри землетрусів, кольорами позначено глибини вогнищ; А1...А5 – В1...В5 і В1...В5 – Г1...Г5 – профілі глибинно-просторової локалізації вогнищ землетрусів (див. рис. 7); 1 і 2 – гребля водосховища (Вільшанського) і будівля Теребле-Ріцької ГЕС

**Fig. 6.** Seismicity of Tereblya-Rika area (on the Google maps image (with relief)) Here: a circle with dots – epicenters of earthquakes, by colours are marked the depths of sources; А1...А5 – В1...В5 і В1...В5 – Г1...Г5 – profiles of earthquakes foci deep-spatial localization (look fig. 7); 1 and 2 – dam of Vilshany reservoir and Tereblya-Rika HPS building



**Рис. 7.** Глибинно-просторова локалізація вогнищ землетрусів району Теребле-Ріцької ГЕС на профілях вздовж (а-д) і вхрест (е-и) Карпат. Тут: — – проєкція Вільшанського водосховища на ріці Тереблі на розрізі А3-Б3 і В3-Г3; ● – вогнища місцевих землетрусів у зонах профілів.

**Fig. 7.** Deep-spatial localization of foci of Tereblyya-Rika area earthquakes on the sections along (a-d) and transversely (e-i) Carpathians. Here: — – projection of Vilshany reservoir on the Tereblyya river to the sections A3-B3 and B3-G3; ● – local earthquakes foci in the sections zones

Ця зона занурюється під кутом порядку  $55\pm 3^\circ$  у північно східному напрямку від зони Закарпатського глибинного розлому під карпатські структури, індикуючи таким чином процес ще активної до сьогодні так званої “крокодилової тектоніки” [Назаревич, Назаревич, 2002; Nazarevych, Nazarevych, 2006], який, за нашими даними, відбувався у регіоні під час формування сучасної тектонічної структури Українських Карпат. Локалізовані у північній частині профілю два вогнища землетрусів на глибинах 12 і 14,5 км вказують на сейсмічну активність локалізованих тут (за [Бойко та ін., 2003]) піднасувних структур умовного “фундаменту” в цьому районі.

Ортогональний профіль В3-Г3, який проходить через центральну зону досліджуваного району, практично по долині ріки Терблї і через зону Вільшанського водосховища Тербле-Ріцької ГЕС (рис. 6), показує (рис. 7, ж) відсутність сейсмічної активності у центрі (в районі водосховища) і на півночі цієї території, але зате підвищену активність (8 вогнищ) у південній (прилеглий до Закарпатського розлому) частині.

Причому основна активність тут зосереджена на невеликих (1–2 км, 4 вогнища) і дещо більших (4,5–7 км, 2 вогнища) глибинах, і також є певна активність (2 вогнища) на значних (18,7 та 29,7 км) глибинах. Тут також вогнища на глибинах 4,7, 7 і 18,7 км відстежують (подібно, як на сусідньому профілі В2-Г2), “сейсмофокальну зону”, яка занурюється під кутом  $55\pm 3^\circ$  у північно-східному напрямку від зони Закарпатського глибинного розлому під карпатські структури, об’єктивно підтверджуючи наявність тут процесу ще активної до сьогодні так званої “крокодилової тектоніки”.

Відмінний від описаного характер глибинно-просторового розподілу сейсмічної активності демонструє локалізований східніше (рис. 6) наступний ортогональний профіль В4-Г4. Тут (див. рис. 7, з) знову наявна помітна сейсмічна активність приповерхневих (0–6 км) насувів і складок (5 вогнищ по всій довжині профілю), а також різноглибинна (2 вогнища на глибині 10 і 11 км, і ще одне – на 30,5 км) активність прилеглої до Закарпатського глибинного розлому крайньої південної частини профілю.

І знову відмінну від попереднього профілю глибинно-просторову сейсмічну активність демонструє останній, найсхідніший (рис. 6) ортогональний профіль В5-Г5. Тут (рис. 7, и) практично відсутня сейсмічна активність приповерхневих (0–6 км) насувів і складок (1 вогнище у центральній частині профілю на глибині 2,3 км), зате чітко виділяється глибинна сейсмоактивна зона на відстані 4–13 км від південного краю профілю (тобто, поблизу Закарпатського глибинного розлому) – 5 вогнищ на глибинах 15–23,3 км і ще одне – на глибині 29,2 км. Ця зона за локалізацією кореспондується з найглибшими землетрусами “фокальної зони”, простеженої на профілях В2-Г2 і В3-Г3 і, очевидно,

також є індикатором сучасної залишкової активності процесу “крокодилової тектоніки”.

Розглянемо тепер особливості глибинно-просторового розподілу сейсмічної активності вздовж простягання карпатських структур у досліджуваному районі за даними по профілях А1-Б1 – А5-Б5 (рис. 7, а–д).

Локалізований найпівденніше (рис. 6) профіль А1-Б1, який пролягає буквально за 2–3 км на північ від зони приповерхневого трасування Закарпатського глибинного розлому, демонструє значну сейсмічну активність цієї зони (15 вогнищ землетрусів, рис. 7, а). Причому переважна частина цих вогнищ (12) локалізується на малих і середніх глибинах (від 1 до 13 км), переважно у центральній частині профілю (особливо у зоні 14–18 км – очевидно, зоні впливу поперечного Терблянського насуву у Солотвинській западині [Назаревич, Назаревич, 2015; Kováčiková et al., 2016], а ще 3 вогнища – на більших (20,6, 29,2 і 30,5 км) глибинах у східній частині профілю.

Враховуючи дані аналогічного сейсмотектонічного аналізу по регіональному профілю РП-17 (див. [Назаревич, Назаревич, 2015; Kováčiková et al., 2016]), можна припустити, що 2 вогнища на глибинах 10–11 км (на 22-му км профілю А1-Б1) і одне на глибині 20,6 км (на 30-му км профілю), які разом з приповерхневою зоною на глибинах 1–7 км у зоні 14–18 км утворюють “сейсмофокальну зону” з кутом падіння  $55\pm 3^\circ$ , є проекцією впливу на прилеглий до Закарпатського глибинного розлому карпатські структури Терблянського насуву/підсуву у Солотвинській западині.

Розташований на 5,5 км північніше (рис. 6) профіль А2-Б2 показує нам суттєво іншу картину (рис. 7, б). Тут сейсмічна активність є суттєво меншою (8 вогнищ), усі вогнища локалізуються на середніх (15–30 км, 6 вогнищ у центральній і східній частинах профілю) і великих (38–51 км, 2 вогнища у крайній західній частині профілю) глибинах, причому перші з них відображають згадану перед цим нижню частину “сейсмофокальної зони” “крокодилової тектоніки”, а останні трасують згадану вище субмеридіональну зону контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія в цьому районі.

Розташований ще на 5,5 км північніше (рис. 6) профіль А3-Б3, який проходить через майданчик Тербле-Ріцької ГЕС і зону греблі Вільшанського водосховища, показує нам ще меншу сейсмічну активність (усього 6 вогнищ) місцевих тектонічних структур (рис. 7, в). Причому 4 з цих вогнищ локалізовані у межах верхнього ярусу насувів і складок (глибини 2–6 км), але на 8 км західніше (одне вогнище) і на 7–11 км східніше (3 вогнища) від водосховища. Ще одне глибоке (Н=52 км) вогнище на крайньому заході та інше (Н=21 км) на сході трасують згадані вище субмеридіональну зону контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія в цьому районі і нижню частину “сейсмофокальної зони” “крокодилової тектоніки” відповідно.

Ще меншу сейсмічну активність (усього 5 вогнищ) місцевих тектонічних структур демонструє локалізований північніше майданчика Теребле-Ріцької ГЕС і Вільшанського водосховища (див. рис. 6) профіль А4-Б4, (рис. 7, з). Тільки 2 з цих вогнищ знаходяться в основній зоні профілю, але на 10-12 км західніше і східніше від водосховища, а решта 3 локалізуються на крайньому заході профілю на середніх (14 км) і великих (28 і 51 км) глибинах і трасують вже згадану зону контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія в цьому районі.

І також незначну (6 вогнищ) сейсмічну активність місцевих тектонічних структур демонструє найпівнічніший (див. рис. 6) профіль А5-Б5, (рис. 7, д). Чотири з цих вогнищ локалізовані у межах приповерхневих насувів і складок (глибини 2,2-4,2 км), інші 2 – у піднасувних структурах “ложа” Карпат (глибини 12 і 14,6 км).

Підсумовуючи результати проведеного аналізу, можемо констатувати, що сейсмічність і сейсмотектоніка району Теребле-Ріцької ГЕС визначається будовою і геомеханічним режимом структур кори дослідженого району і тісним чином пов’язана з геодинамікою і тектонічною будовою земної кори прилеглих територій.

Аналіз сейсмічної активності покривів, насувів і складок у приповерхневих (0-6 км) горизонтах кори (рис. 2, 3, 6 і 7) показує, що певна приповерхнева сейсмічна активність притаманна усім наявним тут покривам – Буркутському, Дуклянсько-Чорногірському і Кросненському. Причому така активність приурочена як до поверхонь насувів окремих складок одна на іншу, так і до розривних порушень ортогонального (вхрест залягання структур) напрямку. Враховуючи, що одне з таких закартованих геологічним зніманням порушень ортогонального напрямку (у тілі Бітлянського субпокриву Кросненської зони, на ділянці між н.п. Колочава і Мерешор (див. рис. 2)) безпосередньо пов’язане з діагональною ділянкою русла ріки Тереблі, це є прямим підтвердженням того (поряд з майже прямим (лінійним) горизонтальним профілем русла ріки на ділянці між н.п. Колочава і Драгово та прилеглою з заходу хребта Бовцанського Верху), що долина ріки тут проходить по ортогональному розлому, сучасна сейсмічна активність якого виразно проявляється південніше зони водосховища (на відстані 7-15 км, у районі н.п. Забрідь і Драгово). А враховуючи, що сейсмічна активність, яка відображає активну геодинаміку тектонічних структур кори регіону, за останні щонайменше 170 років спостерігається з усіх боків зони безпосереднього розташування Теребле-Ріцької ГЕС та її водосховища, а також досліджену геодезичними методами (див. нижче) геодинамічну активність локальних геологічних структур, на яких розташовані споруди ГЕС (гребля водосховища, дериваційний тунель і напірний водопровід), необхідно враховувати ймовірність того, що на наявних у зоні Теребле-Ріцької ГЕС тектонічних структурах накопичуються тектонічні

напруження (проявляється так звана зона “сейсмічного затишшя”), які можуть розрядитися землетрусом значної сили. Адже відомо, що у Закарпатті, в зоні Закарпатського глибинного розлому мали місце досить сильні землетруси [Евсеев, 1969; Костюк та ін., 1997], зокрема, землетрус у Сваляві 1908 р. (з  $M=4,7-5$ ,  $K=12,5$ ,  $N=5-10$  км,  $I_0=7-8$  балів). Також відомо, що період повторюваності для таких найсильніших землетрусів Закарпаття оцінено у 150-175 років [Пронишин, Пустовітенко, 1982], а так звані “заборонені зони” для сильніших закарпатських землетрусів становлять (залежно від їх магнітуди) порядку 12-25 км по латералі [Пронишин, Пустовітенко, 1982; Гнип, 2006; Gнур, 2007; Назаревич, Назаревич, 2009].

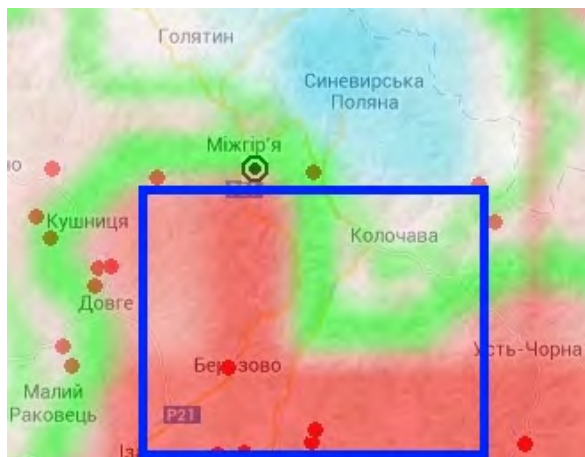
### Сейсмотектоніка району Теребле-Ріцької ГЕС і зони високої провідності в земній корі

Цікаво було також порівняти глибинно-просторовий розподіл землетрусів у районі Теребле-Ріцької ГЕС з наявними тут зонами високої провідності в земній корі. Загальний аналіз таких даних для всього Карпатського регіону України, ми провели спільно з І. Логвіновим, С. Ковачіковою і колегами, його подано у роботі [Kováčiková et al., 2016]. Тут коротко детальніше проаналізуємо це питання стосовно району Теребле-Ріцької ГЕС. На рис. 8 наведено фрагмент карти локалізації зон підвищеної провідності в земній корі для цього району, котрі (за даними авторів цих досліджень І. Логвінова та С. Ковачікової) тяжіють до глибин 10-11 км, у зіставленні з нашими даними (див. [Назаревич, Назаревич, 2015]) про локалізацію вогнищ землетрусів на глибинах  $10\pm 2,5$  км.

Аналізуючи наведені дані, бачимо, що зони підвищеної провідності двома, з’єднаними в районі н.п. Березово – Горінчово – Поляна валами (з заходу, південного заходу і півдня), оточують зону Теребле-Ріцької ГЕС. Враховуючи, що (за нашими даними [Назаревич та ін., 2002; Назаревич, Назаревич, 2002, 2015; Kováčiková et al., 2016]) ці зони є високотріщинуватими флюїдонасиченими зонами (що, власне, і спричиняє їхню високу провідність), вони можуть геомеханічно захищати верхні (0-10 км) горизонти кори у зоні ГЕС від діючих з заходу, південного заходу і півдня (від країв і зони контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія) тектонічних напружень. Це може бути одним з пояснень виявленої нами відсутності у зоні Теребле-Ріцької ГЕС (у радіусі 7-9 км від водосховища) місцевих землетрусів.

Проглядаючи у зв’язку з цим глибинно-просторовий розподіл сейсмічної активності по профілях на рис. 7, бачимо, що на глибинах  $10\pm 1$  км така активність практично відсутня (за винятком локальної зони в районі зчленування Закарпатського глибинного розлому і Тереблянського насуву (див. профілі А1-Б1 і В4-Г4 на рис. 7, а та з відповідно)). Активність відсутня також вище цієї зони (глибини 0-10 км) на профілях А2-Б2 вздовж Карпат і В3-Г3 вхрест Карпат (на останньому – у центрі та на півночі, у зоні ГЕС, див. рис. 7, б та жс).





**Рис. 8.** Картохема локалізації зон підвищеної провідності в земній корі (за даними І. Логвінова, С. Ковачікової) у районі Теребле-Ріцької ГЕС та вогнища місцевих землетрусів (фрагмент)

(тут: зеленим кольором позначено контури зон підвищеної провідності в корі (з концентрацією максимуму провідності на глибинах 10–11 км), світло-рожевим кольором – ділянки цих зон з провідністю  $S < 2000$  s, рожевим – ділянки з провідністю  $S = 2000 \div 4000$  s, темно-рожевим – з  $S \geq 4000$  s; ● – вогнища місцевих землетрусів на глибинах  $10 \pm 2,5$  км; синім прямокутником позначено досліджуваний район)

**Fig. 8.** Map-scheme of localization of zones of increased conductivity in the crust (by data of I. Logvinov, S. Kovachikova) in Tereblya-Rika area and sources of local earthquakes (fragment)

(Here: the green contours mark of zones of increased conductivity in the crust (with maximum conductivity concentration at depths of 10–11 km), light pink – areas of the zones with conductivity  $S < 2000$  s, pink – areas with conductivity  $S = 2000 \div 4000$  s, dark pink – with  $S \geq 4000$  s; ● – sources of local earthquakes at depths of  $10 \pm 2.5$  km; blue rectangle mark studied area)

Примітним фактом є те, що наявна у досліджуваному районі західніше зони ГЕС меридіональна смугова зона високої (з  $S \geq 4000$  s) провідності між н.п. Міжгір'я і Березово у плані співпадає (особливо західним краєм) з ланцюжком глибинних землетрусів (див. рис. 6) зони контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія. Хоча глибини зони провідності (10–11 км) і зони глибинної сейсмічної активності (38–52 км) значно різняться, але таке співпадіння цих зон у плані може бути не випадковим, враховуючи, що південніше (у Закарпатському прогині, у місці проходження регіонального субкарпатського профілю ГСЗ-КМЗХ РП-17) ця зона (відома там як Оашський субмеридіональний розлом) – це сейсмотектонічний вузол, складений субвертикальним розломом і нахиленим під кутом порядку  $60^\circ$  насупом/підсупом [Назаревич, Назаревич, 2015; Kováčiková et al., 2016], це питання потребує подальших досліджень.

Також примітною є наявність (див. рис. 8) широтної зони високої провідності на півдні району, у зоні Закарпатського глибинного розлому. Таке простягання зони (азимут  $90^\circ$ ) досить відрізняється від загального простягання Закарпатського глибинного розлому у Закарпатті (азимут  $132 \pm 5^\circ$ ). Помітно ближче воно до простягання цього розлому власне у цій зоні, на ділянці н.п. Липча – Широкий луг (азимут  $107 \pm 3^\circ$ ), і ще ближче до практично субширотного (азимут  $93 \pm 5^\circ$ ) його простягання на локальній ділянці між н.п. Уголька – Широкий Луг, що може бути індикатором наявних тут локальних особливостей глибинно-просторової структури кори зони Закарпатського глибинного розлому – зони зчленування у цьому районі Складчастих Карпат і східної частини Закарпатського прогину – Солотвинської западини. Це питання потребує також детальніших спеціальних досліджень із залученням до аналізу даних для більшої території і врахуванням впливу наявних тут розломних структур, принаймі, локалізованих південніше, на території Солотвинської западини Тереблянського насупу, Тереблянського і Тересвинського субвертикальних розломів ортогонального до Карпат простягання.

#### Оцінки характеру геоecологічних ризиків для району Теребле-Ріцької ГЕС

Один з очевидних практичних висновків з наведеного аналізу – безпосередньо у зоні водосховища Теребле-Ріцької ГЕС (у радіусі 6–9 км від водосховища за історичний період (з 1860-х років) і за період інструментальних спостережень (з 1961 р.) місцевих землетрусів не зафіксовано. Але це може привести до двох суттєво відмінних за прогнозованими наслідками висновків щодо особливостей наявних тут геодинамічних процесів і, як наслідок, варіантів оцінок сейсмічного і геоecологічного ризику для майданчика ГЕС.

Перший варіант – враховуючи наявні у цьому районі геодинамічні (горизонтальні та вертикальні зміщення точок земної поверхні) та сейсмотектонічні процеси (помітну кількість землетрусів, зокрема низка відчутних – з макросейсмічними ефектами), відсутність землетрусів безпосередньо в околі ГЕС може свідчити про те, що наявні тут геомеханічні напруження розряджаються акустичною емісією і крипом. На користь такого висновку можна навести зафіксовані геодезичними методами [Демедюк та ін., 1993; Третяк та ін., 2009] зміщення різних об'єктів ГЕС і розвинену тріщинуватість у зоні дериваційного тунелю [Кульчицький, 2009], через яку з нього без користі пропадає значна частина водного потоку.

У такому разі необхідно враховувати можливі загрози функціонуванню Теребле-Ріцької ГЕС від такого типу процесів.

Одним з аргументів на користь такого варіанта інтерпретації проаналізованих даних можуть бути описані вище результати порівняльного аналізу глибинно-просторового розподілу сейсмічності і зон високої провідності у корі району досліджень.

Другий варіант – наявні у зоні Терембле-Ріцької ГЕС тектонічні напруження накопичуються (зона сейсмічного затишшя) і наростає ймовірність їхньої розрядки достатньо сильним (з інтенсивністю струшувань до 7–8 балів за шкалою EMS-98) місцевим землетрусом. У такому разі слід враховувати можливий вплив на споруди ГЕС (греблю, тунель і трубопровід) не тільки порівняно повільних крипових рухів і деформацій (як у попередньому випадку), а й макросейсмічних впливів з відповідними величинами і частотним складом сейсмічних коливань (зміщень, швидкостей і прискорень), а також відповідних сейсмодислокаційних деформацій.

У будь-якому випадку для додаткового вивчення особливостей геодинамічних і сеймотектонічних процесів у районі Терембле-Ріцької ГЕС, відстеження їхнього розвитку у просторі і в часі та прогнозування ймовірного їх розвитку в майбутньому необхідно розгорнути тут відповідну мережу геодинамічного (геодезичного і геофізичного) та сейсмічного моніторингу, а також провести необхідні інженерно-геологічні та геофізичні дослідження і моделювання.

#### **Наукова новизна**

Вперше проведено детальний комплексний аналіз сейсмічності, геології, сеймотектоніки та різномасштабних геодинамічних процесів у районі Терембле-Ріцької ГЕС. Визначено основні особливості глибинно-просторового розподілу сейсмічної активності в районі досліджень, зокрема, встановлено наявність сейсмофокальної площини (на відстані 8–10 км на південь від майданчика ГЕС), що простягається по азимуту близько  $105^\circ$  вздовж Закарпатського глибинного розлому, занурюючись від нього під Карпати з глибин 5–6 км і до глибин 20–30 км з кутом падіння близько  $57^\circ$ , що чітко ілюструє успадковану загасаючу активність наявних з “альпійських часів” процесів так званої “крокодилової тектоніки” в регіоні. Також встановлено наявність “зони сейсмічного затишшя” для землетрусів з  $M \geq 1$  у радіусі 7–9 км від майданчика ГЕС за період інструментальних спостережень (з 1961 року) і у радіусі 15 км для землетрусів з  $M \geq 2,5$  за останні 170 років. Оцінено реалізовану (3–4 бали за останні 170 років) і прогнозовану (до 5–7 балів) інтенсивність сейсмічних струшувань для майданчика ГЕС. Простежено зв’язок місцевої сейсмічної активності з наявними тут на глибинах 10–11 км зонами підвищеної провідності в земній корі.

#### **Практична значущість**

Результати досліджень дають можливість оцінити ймовірні сейсмічні та деформаційні впливи на споруди Терембле-Ріцької ГЕС і водосховище, розробити на цій основі проект організації геофізичного (зокрема сейсмічного) і геодезичного геодинамічного моніторингу в зоні майданчика

ГЕС з метою детального вивчення різномасштабних геодинамічних процесів на цій території і розроблення необхідних інженерно-технічних заходів для забезпечення надійної та екологічно безпечної експлуатації ГЕС.

#### **Висновки**

Підсумовуючи викладене, можна зробити такі висновки:

- район Терембле-Ріцької ГЕС, розташований в Українському Закарпатті, географічно – у центральній частині південного схилу Українських Карпат, тектонічно належить до південно-східної частини центрального сегмента Складчастих Карпат, геоморфологічно – до морфоструктур Полонини-Боржави і Полонини-Красної Полонинсько-Чорногірських Карпат, геологічно – до зони Буркутського (Поркулецького) і Дуклянсько-Чорногорського (Дуклянського) покривів Карпат;
- Терембле-Ріцька ГЕС розташована у зоні зчленування Буркутського (Поркулецького) і Дуклянсько-Чорногорського (Дуклянського) покривів Українських Карпат, складених тут відкладами крейди – палеогену, в районі ГЕС наявний також Красношорський субпокрив Дуклянсько-Чорногорського покриву і Бітлянський субпокрив Кросненського покриву, усі ці покриви мають насувно-лускувату будову;
- спостережувана сеймотектонічна активність району Терембле-Ріцької ГЕС визначається наявним тут геодинамічним процесом та структурою і геомеханікою кори району. Основні складові геодинамічного процесу в дослідженому районі – стиск у північно-східному напрямку навхрест карпатських структур і стиск у субширотному східному напрямку від зони контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія (зони Оашського розлому в Закарпатському прогині);
- за макросейсмічними, зокрема за історичними даними район ГЕС і водосховища за останні 170 років зазнавав струшувань силою до 3–4 балів від історичних землетрусів у Чумальово (1935 р.) і Драгово (1937 р.), а також від Углянських (1978 р.) та Колочавського (2011 р.) землетрусів;
- пов’язаний з геодинамічним процесом, тектонічною будовою та геомеханічним режимом глибинно-просторовий розподіл сейсмічної активності геологічних структур району відзначається такими особливостями:
  - наявністю на відстані порядку 15 км від майданчика ГЕС глибинної (до 38–52 км) субмеридіональної смуги вогнищ землетрусів на заході району (на  $23.43 \pm 0.03^\circ \text{S}$ ), в районі н.п. Тополин, Медвежий, Запереділля, Міжгір’я, ця смуга трасує продовження сеймотектонічно активної зони контакту терейнів Алькапа і Тися-Дакія в Карпатському регіоні України (Оашський розлом у Закарпатському прогині) під Складчасті Карпати;

- наявністю на півдні району, на відстані порядку 16–18 км на південь від майданчика ГЕС близькодіагональної (південно-східного простягання, аз.  $117\pm 3^\circ$ ) смуги підвищеної сейсмічної активності у зоні, прилеглій до Закарпатського глибинного розлому-сутури [Гнилко, 2011, 2016] (на північ від лінії н.п. Горінчово, Драгово, Велика Уголька, Широкий Луг);
  - відносно невеликою (13 досить слабких землетрусів з  $M=0,8-2,2$  на територію розміром  $26 \times 30$  км за 55 років) активністю приповерхневих (0–6 км) покривів, насувів і складок;
  - майже повною відсутністю сейсмічної активності нижче границі  $K_0$  (6–7 км) і до глибини 10–11 км, тобто в околі наявної тут зони високої провідності в земній корі;
  - помітною активністю на глибинах 11–25 км, зокрема у районі простеженої тут на глибинах 18–20 км границі  $K_{1,2}$  і ще глибше, у глибинах “базальтового” шару (глибини 29–31 км);
  - у прилеглій до Закарпатського глибинного розлому (сутури) зоні простежується “сейсмофокальна” площа, яка занурюється від зони Закарпатського глибинного розлому (з глибини 6 км) під кутом  $55\pm 3^\circ$  у північно-східному напрямку під карпатські структури (до глибини 32 км) і є індикатором сучасної залишкової активності процесу так званої “крокодилової тектоніки” в Карпатському регіоні України;
  - Виявлена в районі Теребле-Ріцької ГЕС “зона сейсмічного затишшя” для землетрусів з  $M \geq 1,2$  у радіусі 7–9 км від майданчика ГЕС за період інструментальних спостережень (з 1961 року) і у радіусі 15 км для землетрусів з  $M \geq 2,5$  за останні 170 років може бути індикатором накопичення тут тектонічних напружень і провісником майбутнього достатньо сильного землетрусу;
- Усе викладене вказує на необхідність організації в районі Теребле-Ріцької ГЕС постійного геофізичного (зокрема сейсмічного) і геодезичного геодинамічного моніторингу з метою детального вивчення діючих тут різномасштабних геодинамічних процесів, оцінки можливих геоecологічних ризиків і розроблення на цій основі необхідних інженерно-технічних заходів для забезпечення надійної та екологічно безпечної експлуатації ГЕС.
- Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні зв'язку сеймотектонічного процесу в районі Теребле-Ріцької ГЕС з процесами у прилеглих районах. Також потребують спеціального детального розгляду глибинно-просторові масштабно-енергетичні особливості місцевого сеймотектонічного процесу і особливості його розвитку в часі та в просторі. Необхідне також продовження геодезичного моніторингу стійкості споруд Теребле-Ріцької ГЕС.
- Література**
- Бойко Г. Ю., Лозиняк П. Ю., Заяць Х. Б., Анікеєв С. Г., Петрашкевич М. Й., Колодій В. В., Гайванович О. П. Глибинна геологічна будова Карпатського регіону // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2003. – № 2. – С. 52–61.
- Вербицкий С. Т., Стасюк А. Ф., Чуба М. В., Пронишин Р. С., Келеман И. Н., Гаранджа И. А., Вербицкий Ю. Т. Сейсмичность Карпат в 2011 году // Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. – С. 36–46.
- Віхоть Ю., Бубняк І., Накапелюх М. Результати тектонофізичних досліджень флішової товщі Скибового покриву Українських Карпат у долині р. Бистриця Надвірнянська // Геол. журн. – 2011. – № 2. – С. 72–80.
- Геодинамика Карпат / Круглов С. С., Смирнов С. Е., Спитковская С. М., Фильштинский Л. Е., Хижняков А. В. – Киев: Наук. думка, 1985. – 136 с.
- Глубинное строение Советских Карпат // Строе-ние земной коры и верхней мантии Центральной и Восточной Европы / Сологуб В. Б. и др. – Киев: Наук. думка. – 1978. – С. 178–184.
- Гнилко О. М. Геологічна будова та еволюція Українських Карпат. Автореф. дис... доктора геол. наук. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка. – 2016. – 44 с.
- Гнилко О. М. Тектонічне районування Карпат у світлі терейнової тектоніки. Частина 1. Основні елементи Карпатської споруди // Геодинаміка. – 2011. – 2 (11). – С. 170–172.
- Гнип А. Р. Фрактальні властивості сейсмічності Закарпаття // Праці НТШ. – Львів. – 2006. – Том XVII. – С. 82–106.
- Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Ковачикова С., Логвинов И. М., Тарасов В. М., Усенко О. В. Украинские Карпаты (геофизика, глубинные процессы). – Киев: Логос, 2011. – 129 с.
- Гофштейн І. Д. Закарпаття – сейсмічно активна територія Карпатського регіону // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1996. – № 3–4 (96–97). – С. 183–186.
- Демедюк М., Заблоцький Ф., Колгунов В., Островський А., Сідоров І., Третяк К. Результати досліджень горизонтальних деформацій земної кори на Карпатському геодинамічному полігоні. – Геодинаміка. – 1998. – № 1. – С. 3–13.
- Демедюк М. С., Сідоров І. С., Третяк К. Р. Вплив Рікського тектонічного розлому на деформації Теребле-Ріцької ГЕС // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 1993. – № 55. – С. 14–22.
- Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат / Під ред. В. І. Старостенка. – Київ: Наук. думка. – 2005. – 256 с.
- Евсеев С. В. Интенсивность землетрясений Украины // Сейсмичность Украины. Под ред. О. И. Юркевич. – Киев: Наук. думка, 1969. – С. 32–55.
- Каталог Карпатських землетрусів за 1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960, 1961–1962, 1963–1965, 1966–1967, 1968–1969 рр. / Ред. С. В. Євсєєв, О. І. Юркевич. – Київ: Наук. думка. – 1958–1975. – № 1–15. – 44 с., 42 с., 40 с., 54 с., 52 с., 58 с., 20 с., 96 с., 108 с., 57 с.

- Костюк О., Сагалова Є., Руденська І., Пронишин Р., Кендзера О. Каталог землетрусів Карпатського регіону за 1091–1990 роки // Праці НТШ. – Львів. – 1997. – Т. 1. – С. 121–137.
- Кравчук Я. С. Геоморфологія Полонинсько-Чорногірських Карпат. – Львів: ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. – 188 с.
- Крупський Ю. З. Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України. – Київ: УкрДГРІ. – 2001. – 144 с.
- Кузовенко В. В., Жигунова З. Ф., Бунда В. А. и др. Отчет о групповом геологическом доизучении и комплексной геологической съемке масштаба 1:50000 на площади Вышков Иваново-Франковской и Закарпатской областей УССР в 1978–1982 г.г. (листы М – 34 – 120 – А, В; М – 34 – 131 – Б; М – 34 – 132 – А, В). Львов, 1982. Т.1. 219 с. ПГО Запукргеология. Львовская ГЭ. Фонди ДП Західукргеология.
- Кульчицький А. Структурно-геологічні особливості території Терембле-Ріцької ГЕС та оцінка їх впливу на деформації дериваційного трубопроводу геологічними та геодезичними методами // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2009. – Вип. II(18). – С. 44–48.
- Кутас Р. И. Поле тепловых потоков и геотермическая модель земной коры. – Киев: Наук. думка, 1978. – 140 с.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы / под ред. А. В. Чекунова. – Киев: Наук. Думка, 1987–1993.
- Лозиняк П. Ю., Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Неогенова та сучасна геодинаміка і сейсмічність літосфери Закарпаття // Геодинаміка. – 2011. – 2 (11). – С. 170–172.
- Мельничук М. И. О генетической связи сейсмических процессов с тектоникой Карпатского региона // Геофиз. журн. – 1982. – Т. 4, № 2. – С. 34–41.
- Назаревич А. В., Латынина Л. А., Назаревич Л. Е. Геоакустические и деформационные предвестники ощутимых закарпатских землетрясений // Сборник материалов международной конференции “Уроки и следствия сильных землетрясений”. Ялта, 25–28 сентября 2007 г., Крым, Украина. – Симферополь, 2007. – С. 144–146.
- Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Геодинаміка літосфери заходу Закарпаття за комплексом даних // Геодинаміка. – 2004. – № 1(4). – С. 45–53.
- Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Геодинаміка, тектоніка та сейсмічність Карпатського регіону України // Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 247–249.
- Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Глибинні особливості сеймотектонічного процесу в Українських Карпатах. – Матеріали XII Міжнародної конференції “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти”, 12–15 травня 2014 року, м. Київ. – Київ, 2014 (CD), 05/2014, DOI: 10.3997/2214-4609.20140419.
- Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Глибинні пастково-колекторські тектонічні структури в літосфері Карпатського регіону України: природа, походження і перспективні ресурси // Наук. вісник ІФНТУНГ. – 2002. – № 3(4). – С. 10–21.
- Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Масштабно-енергетичні кореляційні співвідношення для вогнищ землетрусів Закарпаття: деякі наслідки та енергетична верифікація // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – Київ, 2009. – С. 279–298.
- Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Про сейсмічну активність тектонічних структур літосфери Українських Карпат // Матеріали XIV Міжнародної конференції “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти”, 11–14 травня 2015 року, м. Київ. – Київ, 2015 (CD), 05/2014, 8546\_UA.
- Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Розрахункові годографи сейсмічних хвиль в гіпоцентрії карпатських землетрусів // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Геологія. – 2003. – № 26–27. – С. 98–103.
- Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Сейсмічність і геодинаміка зони III (транскарпатського) транспортного коридору (Мукачеве – Свалява – Сколе) // Теоретичні та прикладні проблеми геоінформатики. – Київ, 2007. – С. 159–166.
- Назаревич А. В., Назаревич Л. Є., Ковалишин З. І. Природа підзони знижених швидкостей у гранітах кори Закарпаття та її перспективні ресурси // Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2002. – Вип. 15. – С. 119–125.
- Назаревич А., Назаревич Л. Будова літосфери Закарпаття і проблема гіпоцентрії місцевих землетрусів // Збірник матеріалів науково-технічного симпозіуму “Геомоніторинг-2002”. – Львів, 2002. – С. 15–18.
- Назаревич Л., Назаревич А. Сейсмічність території Карпатської нафтогазоносною провінції як фактор підвищеного ризику для нафтогазового комплексу // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2011. – № 1–2. – С. 154–155.
- Назаревич Л. Е., Кендзера А. В., Назаревич А. В., Стародуб Г. Р. Использование теоретических годографов для задач сейсмологии // Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии. Сборник докладов 7-го Казахстанско-Китайского Международного симпозиума. 2–4 июня 2010 г., Алматы, Казахстан / отв. ред. Т. Абаканов. – Алматы: ТОО “Эверо”, 2010. – С. 371–374.
- Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. Методики уточнення параметрів гіпоцентрів Карпатських землетрусів // Геодинаміка. – 2004. – № 1(4). – С. 53–62.
- Назаревич Л. Е., Назаревич А. В. Особенности сейсмичности Надворнянского нефтегазоносного района в Украинском Предкарпатье // Сборник докладов четвертой молодежной тектонофизической школы-семинара, Москва,



- 4–10 октября 2015 г. – Москва, 2015. – Т. 1. – С. 210–215.
- Назаревич Л. Е., Назаревич А. В. Сейсмичность Украинской части Складчатых Карпат // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. – Ташкент, 2013. – № 10. – С. 16–22.
- Назаревич Л. Е., Назаревич А. В. Современные методы обработки сейсмических данных в изучении многоярусности сейсмотектонического процесса в Украинском Закарпатье // Материалы Шестой Международной сейсмологической школы “Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных” (14–20 августа 2011 г.). – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 208–211.
- Назаревич Л. Е., Назаревич А. В., Стародуб Г. Р., Назаревич Р. А. О многоярусности сейсмотектонического процесса в Украинском Закарпатье и его связи со структурой коры региона и свойствами ее вещества // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы Второй молодежной тектонофизической школы-семинара. Москва, 5–11 октября 2011 г. – М.: ИФЗ, 2011. – С. 179–186.
- Назаревич Л. Е., Назаревич А. В. Сейсмічність і деякі особливості сейсмотектоніки Українських Карпат // Геодинаміка. – 2012. – № 1(12). – С. 145–151.
- Назаревич Л. Е., Назаревич А. В. Уточнення параметрів карпатських землетрусів з урахуванням глибинної будови літосфери регіону та усереднених кінематичних нев’язок сейсмічних хвиль // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Геологія. – 2004. – № 29–30. – С. 83–88.
- Назаревич Л. Е., Стародуб Г. Р. Деякі особливості сейсмічного процесу в Карпатському регіоні України (40 років спостережень) // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – Київ, 2010. – С. 286–299.
- Назаревич Л. Е., Стародуб Г. Р., Назаревич Р. А. Некоторые вопросы взаимосвязи сейсмичности, тектоники и геодинамики Украинского Закарпатья // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. – Ташкент, 2010. – № 7, Т. 1. – С. 176–180.
- Назаревич Л. Е. Характеристики сейсмічності і сейсмотектонічного процесу в зонах Карпатського регіону: автореф. дис... канд. геол. наук. – Київ: ІГФ, 2006. – 21 с.
- Назаревич Л. Е., Назаревич А. В. Характерні риси сейсмотектонічного процесу в літосфері Буковини та прилеглих територій // Геодинаміка. – 2007. – № 1(6). – С. 49–54.
- Павлюк М. І., Медведєв А. П. Панкардія: проблеми еволюції. – Львів: Ліга-Прес, 2004. – 108 с.
- Пронишин Р. С., Пустовитенко Б. Г. Некоторые аспекты сейсмического “климата” и “погоды” в Закарпатье // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1982. – № 10. – С. 74–81.
- Пронишин Р. С., Скаржевский В. В., Хивренко З. С. Угледские землетрясения в 1979 г. // Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым – Карпаты) за 1978–1979 г.г. – Киев: Наук. думка, 1982. – С. 100–105.
- Сомов В. И. Современные движения земной коры Карпат и сопредельных стран // Геотектоника. – 1974. – № 6. – С. 28–33.
- Тектоническая карта Украинских Карпат. М-б 1:200000 / Ред. В. В. Глушко, С. С. Круглов. – 1986.
- Тектонічна карта Західного нафтогазоносного регіону України. – Київ: УкрДГРІ, 1994.
- Третьяк К. Р., Вовк А. І. Дослідження динаміки горизонтальних рухів земної кори Європи за даними GNSS спостережень (2000–2010 рр.) // Геодинаміка. – 2012. – № 2(13). – С. 5–17.
- Третьяк К. Р., Кульчицкий А. Я., Сідоров І. С. Геодинаміка Терембле-Ріцького техногенного полігону // Геодинаміка. – 2009. – № 1(8). – С. 47–52.
- Чекунов А. В. Эволюция астенолитов и ее геологические следствия // Докл. АН УССР. Сер Б. – 1988. – № 3. – С. 30–34.
- Шлапінський В. Є. Геологічна будова Скибового, Кросненського і Дуклянсько-Чорногорського покривів Українських Карпат та перспективи їх нафтогазоносності: автореф. дис... кандидата геол. наук. – Львів: ІГГК НАНУ, 2015. – 22 с.
- Gnyр A. R. Fractal variations of the Transcarpathians, West Ukraine, seismicity and their potential relation to changing phases of local seismic cycles // Acta Geophysica, 2007, Vol 55, No. 3, pp. 288–301, DOI 10.2478/s11600-007-0015-5.
- Kováčiková S., Logvinov I., Nazarevych A., Nazarevych L., Pek J., Tarasov V., Kalenda P. Seismic activity and deep conductivity structure of the Eastern Carpathians. – Stud. Geophys. Geod., 2016, 60, P. 1–17, DOI: 10.1007/s11200-014-0942-y
- Nazarevych A., Nazarevych L. Modern and alpine geodynamics of Ukrainian Carpathians (multi-tier “crocodile” or “shaking hand” and “fir-tree” tectonics) // Proceedings XYIII-th congress of the Carpathian-Balkan geological association. September 3–6, 2006, Belgrade, Serbia. – Belgrade, 2006. – P. 399–401.
- Nazarevych L., Nazarevych A. Seismicity and geomechanics of Ukrainian Carpathians region lithosphere // Proceedings XYIII-th congress of the Carpathian-Balkan geological association. September 3–6, 2006, Belgrade, Serbia. – Belgrade, 2006. – P. 402–403.
- Starostenko V., Janik T., Kolomiyets K. Et al. Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*, 2013. **608**, 1049–1072.

А. В. НАЗАРЕВИЧ<sup>1</sup>, Л. Е. НАЗАРЕВИЧ<sup>2</sup>, В. Е. ШЛАПИНСКИЙ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Карпатское отделение Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, 79060, г. Львов, ул. Научная, 3-б, тел. +38 (032) 2648563, эл. почта nazarevych-a@cb-igph.lviv.ua

<sup>2</sup>Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, отдел сейсмичности Карпатского региона, 79012, г. Львов, ул. Ярославенко, 27, тел. +38 (032) 2706100, эл. почта nazarevych.l@gmail.com

<sup>3</sup>Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины, 79060, г. Львов, ул. Научная, 3-а.

## СЕЙСМИЧНОСТЬ, ГЕОЛОГИЯ, СЕЙСМОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА РАЙОНА ТЕРЕБЛЕ-РИЦКОЙ ГЭС (УКРАИНСКОЕ ЗАКАРПАТЬЕ)

**Цель.** Цель работы – провести комплексный анализ сейсмичности, геологии, сейсмоструктуры и разномасштабных геодинамических процессов в районе Теремле-Рицкой ГЭС в Украинском Закарпатье (23.35-23.87°S, 48.23-48.51°N) для уточнения оценок геологических рисков. **Методика.** Методика исследований включает комплексный анализ сейсмических, геологических и геодезических данных, в том числе с привлечением современных методик и новейших результатов исследований, в частности, данных о сейсмичности Карпатского региона Украины за исторический период и период инструментальных наблюдений, новых методик анализа макросейсмических полей и уточнения гипоцентрии закарпатских землетрясений, анализ геологии и тектоники распространенных здесь приповерхностных покровов надвигового типа, геоморфологический анализ особенностей рельефа и современных рельефообразовательных процессов, проведения специальных геодезических (в том числе мониторинговых) исследований (триангуляция, светодальнометры, GPS-исследования) и анализ полученных данных. **Результаты.** По геолого-тектоническим данным Теремле-Рицкая ГЭС расположена на геологических структурах Буркутского (Поркулецкого) покрова Украинских Карпат, примерно на 2 км южнее линии его контакта с Дукляно-Черногорским (Дуклянским) покровом. Зона ГЭС находится на расстоянии примерно 16–18 км к северо-востоку от зоны сейсмоактивного Закарпатского глубинного разлома (сутуры) и на расстоянии порядка 28–30 км от зоны сочленения его с также сейсмоактивным Оашским меридиональным разломом Закарпатского прогиба. По результатам сейсмологических исследований на западе района (на 23.43±0.03°S) прослежена субмеридиональная глубинная (с очагами землетрясений до глубины 38–52 км) сейсмоструктурно-активная зона контакта террейнов Алькапа и Тиссия-Дакия в Карпатском регионе Украины. На юге и юго-востоке сейсмоактивной (активность до глубин 31 км) является диагональная (северо-западно – юго-восточного направления, аз. 117±5°) зона Закарпатского глубинного разлома. Центральная часть зоны (район водохранилища) является в сейсмическом отношении сравнительно слабоактивной. По макросейсмическим данным район ГЭС и водохранилища испытывал сотрясения силой до 3–4 баллов от исторических землетрясений в Чумалёво (1935 г.) и Драгово (1937 г.), а также от Углянского (1978 г.) и Колочавского (2011 г.) землетрясений. Сейсмическая активность имеющихся здесь приповерхностных (0–6 км) геологических структур – покровов надвиговой кинематики относительно небольшая (13 слабых землетрясений с  $M=0,8-2,2$  на территорию размером 26×30 км за 55 лет). В прилегающей к Закарпатскому глубинному разлому зоне прослежена “сейсмофокальная” плоскость, которая погружается от зоны разлома (с глубины 6 км) под углом 57±2° в северо-восточном направлении под карпатские структуры (до глубины 32 км) и является индикатором современной остаточной активности процесса так называемой “крокодиловой тектоники” в Карпатском регионе Украины. **Научная новизна.** Впервые проведен детальный комплексный анализ сейсмичности, геологии, сейсмоструктуры и разномасштабных геодинамических процессов в районе Теремле-Рицкой ГЭС. Определены основные особенности глубинно-пространственного распределения сейсмической активности в районе исследований, в частности, установлено наличие сейсмофокальной плоскости, простирающейся по азимуту около 110° вдоль Закарпатского глубинного разлома (на расстоянии 8–10 км к югу от площадки ГЭС), погружаясь от него под Карпаты с глубин 5–6 км и до глубин 20–30 км с углом падения около 57°, что четко иллюстрирует унаследованную затухающую активность процессов так называемой “крокодиловой тектоники” в регионе. Также установлено наличие зоны “сейсмического затишья” для землетрясений с  $M \geq 1$  в радиусе 7-9 км от площадки ГЭС за период инструментальных наблюдений (с 1961 года) и в радиусе 15 км для землетрясений с  $M \geq 2,5$  за последние 170 лет. Оценена реализованная (3–4 балла за последние 170 лет) и прогнозируемая (до 5–7 баллов) интенсивность сейсмических сотрясений для площадки ГЭС. Прослежена связь местной сейсмической активности с имеющимися здесь на глубинах 10–11 км зонами повышенной проводимости в земной коре. **Практическая значимость.** Результаты исследований дают возможность оценить вероятные сейсмические и деформационные воздействия на сооружения Теремле-Рицкой ГЭС и водохранилище, разработать на этой основе проект организации геофизического и геодезического геодинамического мониторинга в зоне площадки ГЭС с целью детального изучения разномасштабных геодинамических процессов на этой территории и разработки необходимых инженерно-технических мер для обеспечения надежной и экологически безопасной эксплуатации ГЭС.

**Ключевые слова:** сейсмичность; сейсмоструктура; геодинамические процессы; деформации; покровы, геологическое строение; район Теремле-Рицкой ГЭС; Украинское Закарпатье.

A. V. NAZAREVYCH<sup>1</sup>, L. Ye. NAZAREVYCH<sup>2</sup>, V. E. SHLAPINSKY<sup>3</sup><sup>1</sup>Carpathian Branch of Subbotin Name Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Naukova str., 3-b, 79060, Lviv, Ukraine, tel. +38(032)2648563, e-mail nazarevych-a@cb-igph.lviv.ua<sup>2</sup>Subbotin Name Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Department of seismicity of Carpathian region, Yaroslavenko str., 27, 79012, Lviv, Ukraine, tel. +38(032)2706100, e-mail nazarevych.l@gmail.com<sup>3</sup>Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Naukova str., 3-a, 79060, Lviv, UkraineSEISMICITY, GEOLOGY, SEISMOTECTONICS AND GEODYNAMICS  
OF TEREPLYA-RITSKA HPS AREA (UKRAINIAN TRANSCARPATHIANS)

**Purpose.** The aim of the work is to conduct the complex analysis of seismicity, geology, seismotectonics and difference scale geodynamic processes in the Tereblya-Rika hydro power station (HPS) area in the Ukrainian Transcarpathians (23.35–23.87°S, 48.23–48.51°N) to refine estimation of geo-ecological risks. **Methods.** Research methodology includes comprehensive analysis of seismic, geological and geodetic data, including those involving modern techniques and the latest research results, including data on seismicity of Carpathian region of Ukraine during the historical period and the period of instrumental observations, new methods of analysis of macroseismic fields and Transcarpathian earthquakes fosi refinement, analysis of geology and tectonics of widespread here nearsurface thrust nappes, geomorphological analysis of relief features and modern relief generating processes, special (including monitoring) geodetic surveying research (triangulation and optical range finder measurements, GPS-studies) and an analysis of obtained data. **Results.** According to geological and tectonic data Tereblya-Rika HPS is located on geological structures of Burkut (Porkulets) nappe of the Ukrainian Carpathians, about 2 km south of the line of his contact with Duklya-Chornogora (Duklya) nappe. HPS zone is at a distance of 16–18 km north-east of the Transcarpathian seismically active deep fault (suture) and at a distance of 28–30 km from the junction of him with also seismoactive Oash meridional fault of Transcarpathian depression. By results of seismological studies in the West of area (at 23.43±0.03°S) the submeridional depth (from earthquake to 38–52 km depth) seismotectonically active zone of contact of terrane Alkapa and Tisza-Dacia in the Carpathian region of Ukraine is traced. In the south and southeast the seismically active (activity to 31 km depths) is diagonal (northwest – southeast direction, az. 117 ±5°) Transcarpathian deep fault zone. The central part of the zone (HPS reservoir area) is relatively low seismically active. By macroseismic data the HPS and reservoir area undergo by seismic shakings with intensity to 3–4 points from historical 1935 Chumalovo and 1937 Drahovo earthquakes and from 1978 Uhlya and 2011 Kolochava earthquakes. Seismic activity of available here near surface (0–6 km) geological structures – thrust nappes is relatively low (13 weak earthquakes with M=0,8–2,2 on 26×30 km territory during 55 years). In adjacent to the Transcarpathian deep fault zone the “seismic focal surface” (plane) was traced, which fall down from the fault zone (from the depth of 6 km) at an 57±2° angle in the north-east under the Carpathian structures (to a depth of 32 km) and it is an indicator of current residual activity of the process of so-called “crocodile tectonics” in the Carpathian region of Ukraine. **Originality.** For the first time a detailed comprehensive analysis of seismicity, geology, seismotectonics and difference scale geodynamic processes in Tereblya-Rika HPS area was carried out. The main features of deep-spatial distribution of seismic activity in the area, in particular, the presence of “seismic focal surface” (plane) that extends approximately 110° azimuth along the Transcarpathian deep fault (at a 8–10 km distance in south from the HPS site) fall down from him under the Carpathians (from depths of 5–6 km to depths of 20–30 km) with the dip angle of about 57°, that clearly illustrates the inherited decreasing activity of so-called “crocodile tectonics” processes in the region. Also the presence of “seismic lull” zone for M≥1 earthquake within 7–9 km radius from HPS site for the period of instrumental observations (since 1961) and within 15 km radius for earthquakes with M≥2,5 for last 170 years. Realized (3–4 points over last 170 years) and predicted (5–7 points) seismic shakings intensity for HPS site was estimated. The connection of local seismic activity with available here at depths of 10–11 km zones of increased conductivity in the Earth's crust was traced. **Practical significance.** The research results make it possible to assess the possible seismic and deformation influences on Tereblya-Rika HPS constructions and reservoir, to develop on this basis a project of geophysical and geodetic geodynamic monitoring in the site HPS area with the aim of detailed study of multiscale geodynamic processes in the area and development the necessary engineering measures to ensure reliable and ecologically safe operation of HPS.

*Key words:* seismicity; seismotectonics; geodynamic processes; deformations; geological structure; nappes, Tereblya-Rika HPS area; Ukrainian Transcarpathians.

## REFERENCES

Boyko G. Yu, Lozynyak P. Yu., Anikeev S. G., Petrashkevych M. Y., Kolodiy V. V., Gaivanovych O. P. *Hlybynna heolohichna budova Karpats'koho rehionu* [Deep geological structure of Carpathian region], *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn* [Geology and Geochemistry of Combustible Minerals], 2003, No. 2, pp. 52–61 (in Ukrainian).

- Verbickyy S. T., Stasjuk A. F., Chuba M. V., Pronishin R. S., Keleman I. N., Garandzha I. A., Verbickyy Yu. T. *Sejsmichnost' Karpat v 2011 godu* [Seismicity of the Carpathians in 2011], *Sejsmologicheskij bjulleten' Ukrainy za 2011 god.* [Seismological Bulletin of Ukraine for 2011], Sevastopol', Izd-vo "EKOSI-Gidrofizika" ["EKOSI-Hydrophysics" Publ.], 2012, pp. 36–46 (in Russian).
- Vikhot' Yu., Bubnyak I., Nakapelyukh M. *Rezultaty tektonofizychnykh doslidzen' flishovoyi tovshchi Skybovoho pokryvu Ukrayins'kykh Karpat u dolyni r. Bystrytsya Nadvirnyans'ka* [Results of tectonophysical researches of Flish thicker of the Skyba nappe of Ukrainian Carpathians in the Bystrytsya Nadvirnyanska valley], *Heol. zhurn.* [Geol. J.], 2011, No. 2, pp. 72–80 (in Ukrainian).
- Kruglov S. S., Smirnov S. Ye., Spitkovskaya S. M., Filshtynskyy L. Y e., Hyzhnyakov A. V. *Geodinamika Karpat* [Geodynamics of Carpathians], Kyiv, Izd-vo "Naukova dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1985, 136 p. (in Russian).
- Sollogub V. B. et al. *Glubinnoe stroenie Sovetskih Karpat* [Deep structure of Soviet Carpathians], *Stroenie zemnoj kory i verhnej mantii Central'noj i Vostochnoj Evropy* [Structure of the crust and upper mantle in Central and Eastern Europe], Kyiv, Izd-vo "Naukova dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1978, pp. 178–184 (in Russian).
- Hnylko O. M. *Heolohichna budova ta evolyutsiya Ukrayins'kykh Karpat* [Geological structure and evolution of the Ukrainian Carpathians], *Avtoref. dys... doktora heol. nauk* [Author's abstract of Dr. of Sciences Thesis in Geol. Sciences], L'viv, LNU im. Ivana Franka [Ivan Franko name Lviv National University], 2016, 44 p. (in Ukrainian).
- Hnylko O. M. *Tektonichne rayonuvannya Karpat u svitli tereynovoyi tektoniky. Chastyna 1. Osnovni elementy Karpats'koyi sporudy* [Tectonic zoning of the Carpathians in light of terrane tectonics. Part 1. Main elements of Carpathian mountain structure], *Geodynamics*, 2011, No. 2(11), pp. 170–172 (in Ukrainian).
- Hnyp A. R. *Fraktal'ni vlastyvositi seysmichnosti Zakarpattya* [Fractal properties of Transcarpathians seismicity], *Pratsi NTSh* [Proceedings of the Shevchenko Scientific Society], Lviv, 2006, Vol. XVII, pp. 82–106 (in Ukrainian).
- Gordienko V. V., Gordienko I. V., Zavgorodnjaja O. V., Kovachikova S., Logvinov I. M., Tarasov V. M., Usenko O. V. *Ukrainskie Karpaty (geofizika, glubinnye processy)* [Ukrainian Carpathians (geophysics, deep processes)], Kyiv, Izd-vo "Logos" ["Logos" Publ.], 2011, 129 p. (in Russian).
- Hofshteyn I. D. *Zakarpattya – seysmichno aktyvna terytoriya Karpats'koho rehionu* [Transcarpathians – a seismically active area of the Carpathian region], *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn* [Geology and Geochemistry of Combustible Minerals], 1996, No. 3–4 (96–97), pp. 183–186 (in Ukrainian).
- Demedyuk M., Zablots'kyy F., Kolhunov V., Ostrovs'kyy A., Sidorov I., Tretyak K. *Rezultaty doslidzen' horyzontal'nykh deformatsiy zemnoyi kory na Karpats'komu heodynamichnomu polihoni* [Results of researches of horizontal deformation of the crust in the Carpathian geodynamic polygon], *Geodynamics*, 1998, No. 1, pp. 3–13 (in Ukrainian).
- Demedyuk M. S., Sidorov I. S., Tretyak K. R. *Vplyv Rik'koho tektonichnoho rozlomu na deformatsiyi Tereble-Rits'koyi HES* [Influence of Rika tectonic fault on the deformation of Tereblya-Rika HPS], *Heodeziya, kartohrafiya i aerofotoznimannya* [Geodesy, cartography and aerial photography], 1993, No. 55, pp. 14–22 (in Ukrainian).
- Doslidzhennya suchasnoyi heodynamiky Ukrayins'kykh Karpat* [Studies of modern geodynamics of Ukrainian Carpathians]. Ed. V. I. Starostenko, Kyiv, Izd-vo "Naukova dumka" ["Scientific thought" Publ.], 2005, 256 p. (in Ukrainian).
- Evseev S. V. *Intensivnost' zemletrjasenij Ukrainy* [The intensity of the earthquakes of Ukraine], *Sejsmichnost' Ukrainy* (Pod red. O.I.Jurkevich) [Seismicity of Ukraine (Ed. O. I. Yurkevich)], Kiev, Izd-vo "Naukova Dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1969, pp. 32–55. (in Russian),
- Kataloh Karpats'kykh zemletrusiv za 1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960, 1961–1962, 1963–1965, 1966–1967, 1968–1969 roky* [Catalogue of Carpathian earthquakes in 1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960, 1961–1962, 1963–1965, 1966–1967, 1968–1969], Ed. S. V. Evseev, O. H. Jurkewycz, Kyiv, Izd-vo "Naukova dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1958–1975, No. 1–15. 44 p., 42 p., 40 p., 54 p., 52 p., 58 p., 20 p., 96 p., 108 p., 57 p. (in Ukrainian).
- Kostyuk O., Sahalova Ye., Rudens'ka I., Pronyshyn R., Kendzera O. *Kataloh zemletrusiv Karpat-s'koho rehionu za 1091-1990 roky* [Catalogue of earthquakes of Carpathian region in 1091-1990 years], *Pratsi NTSh*, [Proceedings of the Shevchenko Scientific Society], Lviv, 1997, Vol. 1, pp. 121–137 (in Ukrainian).
- Kravchuk Ya. S. *Heomorfologhiya Polonyns'ko-Chornohirs'kykh Karpat* [Geomorphology of the Polonyna-Chornohora Carpathians], Lviv, VTs LNU im. Ivana Franka [Publ. Center of Ivan Franko LNU], 2008, 188 p. (in Ukrainian).
- Krups'kyy Yu. Z. *Heodynamichni umovy formuvannya i naftohazonosnist' Karpats'koho ta Volyno-Podil's'koho rehioniv Ukrainy* [Geodynamic conditions of formation and oil and gas content in the Carpathian and Volyno-Podillya regions of Ukraine], Kyiv, Publ. of Ukr DGRI (Ukrayins'kyy derzhavnyy heolohorozviduval'nyy instytut) [UkrSGPI (Ukrainian State Geological Prospecting Institute)], 2001, 144 p. (in Ukrainian).
- Kuzovenko V. V., Zhigunova Z. F., Bunda V. A. et al. *Otchet o gruppovom geologicheskomo doizuchenii i kompleksnoj geologicheskoy sjemke masshtaba 1:50000 na ploshhadi Vyshkov Ivano – Frankovskoy i*



- Zakarpatskoj oblasti USSR v 1978 – 1982 g.g. (listy M – 34 – 120 – A, V; M – 34 – 131 – B; M – 34 – 132 – A, V)* [Report on the group geological additional exploration and a comprehensive geological survey of 1:50.000 scale in the Vyshkov area of Ivano-Frankivsk and Transcarpathian regions of the Ukrainian SSR in 1978–1982 (sheets M – 34 – 120 – A, B; M – 34 – 131 – B; M – 34 – 132 – A, B)], Lviv, 1982. Vol. 1. 219 p. PGO “Zapukrgeologija”, Lviv geological expedition, Bank of SE “West Ukrainian geology” (in Russian).
- Kul'chyts'kyy A. *Strukturno-heolohichni osoblyvosti terytoriyi Tereble-Rits'koyi HES ta otsinka yikh vplyvu na deformatsiyi deryvatsiynoho truboprovodu heolohichnyimi ta heodezychnymi metodamy* [Structurally-geological features of territory of Tereblja-Riksky HPS and estimation of its influence on deformations of the derivational pipeline by geological and geodetic methods] // *Cuchasni dosyahnennya heodezychnoyi nauky ta vyrobnytstva* [Modern achievements of geodetic science and industry], 2009, Vol. II (18), pp. 44–48 (in Ukrainian).
- Kutas R. I. *Pole teplyvoh potokov i geotermicheskaja model' zemnoj kory* [Thermal flow field and geothermal model of the Earth's crust], Kiev, Izd-vo “Naukova dumka” [“Scientific thought” Publ.], 1978, 140 p. (in Russian).
- Litosfera Central'noj i Vostочноj Evropy* [Lithosphere of Central and Eastern Europe], Ed. A.V. Chekunov, Kyiv, Izd-vo “Naukova dumka” [“Scientific thought” Publ.], 1987–1993 (in Russian).
- Lozynyak P. Yu., Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Neohenova ta suchasna heodynamika i seysmichnist' litosfery Zakarpattya* [Neogene and modern geodynamics and seismicity of Transcarpathians lithosphere], *Geodynamics*, 2011, No. 2(11), pp. 170–172 (in Ukrainian).
- Mel'nychuk M. I. *O geneticheskoy svyazi seysmicheskikh processov s tektonikoj Karpatskogo regiona* [On genetic connection the seismic processes to tectonics of Carpathian region], *Geophys. journal*, 1982, Vol. 4, No. 2, pp. 34–41 (in Russian).
- Nazarevych A. V., Latynina L. A. Nazarevych L. Ye. *Geoakusticheskie i deformacionnye predvestniki oshhutimyh zakarpatskikh zemletrjasenij* [Geoacoustic and deformation precursors of tangible Transcarpathians earthquakes], *Sbornik materialov mezhdunarodnoj konferencii “Uroki i sledstvija sil'nyh zemletrjasenij”*. Yalta, 25–28 sentjabrja 2007 g., *Krym, Ukraina* [Collection of materials of the International conference “Lessons and consequences of strong earthquakes.” Yalta, 25–28 September 2007, Crimea, Ukraine], Simferopol, 2007, pp. 144–146 (in Russian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Heodynamika litosfery zakhodu Zakarpattya za kompleksom danykh* [Geodynamics of western part of Transcarpathians by complex of data], *Geodynamics*, 2004, No. 1 (4), pp. 45–53 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Heodynamika, tektonika ta seysmichnist' Karpats'koho rehionu Ukrayiny* [Geodynamics, tectonic and seismicity of Carpathian region of Ukraine], *Geodynamics*, 2013, No. 2(15), pp. 247–249 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Hlybynni osoblyvosti seysmotektonichnoho protsesu v Ukrayins'kykh Karpatakh* [Deep features of seismotectonic process in Ukrainian Carpathians], *Materialy XII Mizhnarodnoyi konferentsiyi “Heoinformatyka: teoretychni ta prykladni aspekty”*, 12–15 travnya 2014 roku, Kyiv [Proceedings of XII International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects”, May 12–15, 2014, Kyiv], Kyiv, 2014 (CD), 05/2014; DOI: 10.3997/2214-4609.20140419 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Hlybynni pastkovo-kolektors'ki tektonichni struktury v litosferi Karpats'koho rehionu Ukrayiny: pryroda, pokhodzhennya i perspektyvni resursy* [Deep trap-collector tectonic structures in the lithosphere of Carpathian region of Ukraine: the nature, genesis and prospective resources], *Nauk. visnyk IFNTUNH* [Scientific Bulletin of IFNTUOG], 2002, No. 3(4), pp. 10–21 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Masshtabno-enerhetychni korelyatsiyi spivvidnoshennya dlya vohnyshch zemletrusiv Zakarpattya: deyaki naslidky ta enerhetychna veryfikatsiya* [Scale-energy correlation relations for foci of Transcarpathian earthquakes: some consequences and energy verification], *Teoretychni ta prykladni aspekty heoinformatyky* [Theoretical and applied aspects of geoinformatics], Kyiv, 2009, pp. 279–298 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Pro seysmichnu aktyvnist' tektonichnykh struktur litosfery Ukrayins'kykh Karpat* [On the seismic activity of tectonic structures of Ukrainian Carpathians lithosphere], *Materialy XIV Mizhnarodnoyi konferentsiyi “Heoinformatyka: teoretychni ta prykladni aspekty”*, 11–14 travnya 2015 roku, m. Kyiv [Proceedings of the XIV International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects”, May 11–14, 2015, Kyiv], Kyiv, 2015 (CD), 05/2014, 8546-UA (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Rozrakhunkovi hodohrafy seysmichnykh khvyl' v hipotsentriyi karpats'kykh zemletrusiv* [Calculated travel-time tables of seismic waves in Carpathian earthquakes hipotsentry], *Visnyk KNU im. T. Shevchenka, Heolohiya* [Bulletin of Taras Shevchenko name Kyiv National University, Geology], 2003, No. 26–27, pp. 98–103 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Seysmichnist' i heodynamika zony III (Transkarpats'koho) transportnoho korydoru (Mukacheve – Svalyava – Skole)*. [Seismicity and geodynamics of III (Trans-Carpathian) transport corridor zone (Mukachevo – Svalyava – Skole)], *Teoretychni ta prykladni problemy heoinformatyky* [Theoretical and applied problems of geoinformatics], Kyiv, 2007, pp. 159–166 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye., Kovalyshyn Z. I. *Pryroda pidzony znyzhenykh shvydkostey u “hranitakh”*

- kory Zakarpattya ta yiyi perspektyvni resursy [Nature of lower velocity subzone in “granites” of Transcarpathian crust and its prospective resources], *Visnyk LNU im. I. Franka, Ser. heol.* [Bulletin of Ivan Franko name Lviv National University, Series Geological], 2002, Vol. 15, pp. 119–125 (in Ukrainian).
- Nazarevych Andriy, Nazarevych Lesya. *Budova litosfery Zakarpattya i problema hipotsentriyi mistsevykh zemletrusiv* [Structure of Transcarpathians lithosphere and problem of local earthquakes hipotsentriyi], *Zbirnyk materialiv naukovo-tekhnichnoho sympoziumu “Heomonitorynh-2002”* [Proceedings of science-technical symposium “Geomonitoring-2002”], Lviv, 2002, pp. 15–18 (in Ukrainian).
- Nazarevych L., Nazarevych A. Seysmichnist' terytoriyi Karpat-s'koyi naftohazonosnoyi provintsiyi yak faktor pidvyshchenoho ryzyku dlya naftohazovoho kompleksu [Seismicity of Carpathian oil and gas province territory as a factor of risk for oil and gas complex], *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn* [Geology and Geochemistry of Combustible Minerals], 2011, No. 1–2, pp. 154–155 (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye., Kendzera A. V., Nazarevych A. V., Starodub G. R. *Ispol'zovanie teoreticheskikh godografov dlja zadach sejsmologii* [Using the theoretical travel-time tables for problems of seismology], *Prognoz zemletrjasenij, ocnka sejsmicheskoy opasnosti i sejsmicheskogo riska Central'noj Azii. Sbornik dokladov 7-go Kazahstansko-Kitajskogo Mezhdunarodnogo simpoziuma. 2–4 ijunya 2010 g., Almaty, Kazahstan, Otv. red. T. Abakanov* [Earthquakes prognosis, evaluation of seismic danger and seismic risk in Central Asia. Proceedings of the 7th Kazakhstan-China International Symposium, June 2–4, 2010, Almaty, Kazakhstan, Ed. T. Abakanov], Almaty, Izd-vo TOO “Evero” [LLP “Evero” Publ.], 2010, pp. 371–374 (in Russian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Metodyky utochnennya parametriv hipotsentriv Karpat-s'kykh zemletrusiv* [Methods of Carpathian earthquakes hypocenters parameters specification], *Geodynamics*, 2004, No. 1(4), pp. 53–62 (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Osobennosti sejsmichnosti Nadvornjanskogo neftegazonosnogo rajona v Ukrainskom Predkarpat'e* [Peculiarities of seismicity of Nadvirna oil and gas region in Ukrainian Precarpathians], *Sbornik dokladov chetvertoj molodezhnoj tektonofizi-cheskoj shkoly-seminara, Moskva, 4–10 oktjabrja 2015 g.* [Proceedings of the Fourth Youth tectonophysical school-seminar, Moscow, 4–10 October 2015], Moscow, 2015, Vol. 1., pp. 210–215 (in Russian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Sejsmichnost' Ukrainskoj chasti Skladchatyh Karpat* [Seismicity of the Ukrainian part of the Folded Carpathians], *Problemy sejsmologii v Uzbekistane* [Problems of seismology in Uzbekistan], Tashkent, 2013, No. 10, pp. 16–22 (in Russian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Sovremennye metody obrabotki sejsmicheskikh dannyh v izuchenii mnogojarusnosti sejsmotektonicheskogo processa v Ukrainskom Zakarpate* [Modern methods of seismic data processing in the study the stacked seismotectonic process in Ukrainian Transcarpathians], *Materialy Shestoj Mezhdunarodnoj sejsmologicheskoy shkoly “Sovremennye metody obrabotki i interpretacii sejsmologicheskikh dannyh” (14–20 avgusta 2011 g.)* [Proceedings of the Sixth International Seismological School “Modern methods of processing and interpretation of seismic data” (14–20 August 2011)], Obninsk, Izd-vo GS RAN [Publ. Of GS RAS], 2011, pp. 208–211 (in Russian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V., Starodub G. R., Nazarevych R. A. *O mnogojarusnosti sejsmotektonicheskogo processa v Ukrainskom Zakarpate i ego svjazi so strukturoj kory regiona i svojstvami ee veshhestva* [About stacked seismotectonic process in Ukrainian Transcarpathians and its relationship with the structure of the region's crust and its material properties], *Sovremennaja tektonofizika. Metody i rezul'taty. Materialy Vtoroj molodezhnoj tektonofizicheskoy shkoly-seminara. Moskva, 5–11 oktjabrja 2011 g.* [Modern Tectonophysics. Methods and results. Proceedings of the Second Youth tectonophysical school-seminar. Moscow, 5–11 October 2011], Moscow, Izd-vo IFZ RAN [IPhE RAS Publ.], 2011, pp. 179–186 (in Russian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Seysmichnist' i deyaki osoblyvosti sejsmotektoniky Ukrayins'kykh Karpat* [Seismicity and some features of seismotectonics of Ukrainian Carpathians], *Geodynamics*, 2012, No. 1(12), pp. 145–151 (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Utochnennya parametriv karpats'kykh zemletrusiv z urakhuvannyam hlybinnoyi budovy litosfery rehionu ta userednenykh kinematychnykh nev'yazok seysmichnykh khvyl'* [Specification of Carpathian earthquakes hypocenters parameters with taking into account the depth structure of regional lithosphere and middle kinematic deviations of seismic waves], *Visnyk KNU im. T. Shevchenka, Heolohiya* [Bulletin of Taras Shevchenko name Kyiv National University, Geology], 2004, No. 29–30, pp. 83–88 (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye., Starodub H. R. *Deyaki osoblyvosti seysmichnoho protsesu v Karpats'komu rehioni Ukrayiny (40 rokiv sposterezhen')* [Some peculiarities of seismic process in the Carpathian region of Ukraine (40 years of observations)], *Teoretychni ta prykladni problemy heoinformatyky* [Theoretical and applied problems of geoinformatics], Kyiv, 2010, pp. 286–299 (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye., Starodub G. R., Nazarevych R. A. *Nekotorye voprosy vzaimosvjazi sejsmichnosti, tektoniki i geodinamiki Ukrainського Zakarpat'ja* [Some questions of the relationship of seismicity, tectonics and geodynamics of Ukrainian Transcarpathians], *Problemy sejsmologii v Uzbekistane* [Problems of seismology in Uzbekistan], Tashkent, 2010, No. 7, Vol. 1, pp. 176–180 (in Russian).

- Nazarevych L. Ye. *Kharakterystyky seysmichnosti i seysmotektonichnoho protsesu v zonakh Karpat-s'koho rehionu*. [Characteristics of seismicity and seismotectonic process in Carpathian region zones], *Avtoref. dys. ... kand. heol. nauk* [Author's abstract of PhD Thesis in Geol. Sciences (geophysics)], Kyiv, IHF [IGPh (Institute of Geophysics)], 2006, 21 p. (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Kharakterni rysy seysmotektonichnoho protsesu v litosferi Bukovyny ta prylehlykh terytoriy* [Characteristics of seismotectonic process in the lithosphere of Bucovina and surrounding areas], *Geodynamics*, 2007, No. 1 (6), pp. 49–54 (in Ukrainian).
- Pavlyuk M. I., Medvedev A. P. *Pankardiya: problemy evolyutsiyi* [Pankardiya: problems of evolution], Lviv, Vydvo "Liha-Pres" ["Liga-Press" Publ.], 2004, 108 p.
- Pronishin R. S., Pustovitenko B. G. *Nekotorye aspekty seysmicheskogo "klimata" i "pogody" v Zakarpat'e* [Some aspects of the seismic "climate" and "weather" in Transcarpathians], *Izv. AN SSSR. Fizika Zemli* [Proceedings of USSR Academy of Sciences. Physics of the Earth], 1982, No. 10, pp. 74–81 (in Russian).
- Pronishin R. S., Skarzhhevskij V. V., Hivrenko Z. S. *Uglijanskije zemletrjasenija v 1979 g.* [Uglya earthquakes in 1979] *Seismologicheskij bjulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym – Karpaty) za 1978–1979 g.g.* [Seismological bulletin of Western territorial zone of ISSO of the USSR (Crimea – Carpathians) for 1978–1979], Kiev, Izd-vo "Naukova dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1982, pp. 100–105 (in Russian).
- Somov V. I. *Sovremennye dvizhenija zemnoj kory Karpat i sopredel'nyh stran* [Modern crustal movements of the Carpathians and the adjacent countries], *Geotektonika* [Geotectonics], 1974, no. 6, pp. 28–33 (in Russian).
- Tektonicheskaja karta Ukraïnskih Karpat* [Tectonic Map of the Ukrainian Carpathians], Ed. V. V. Glushko i S. S. Kruglov, Kiev, 1986 (in Russian).
- Tektonichna karta Zakhidnoho naftohazonosnoho rehionu Ukrayiny* [Tectonic map of Western oil and gas region of Ukraine]. Kyiv, Ukrayins'kyy derzhavnyy heolohorozviduval'nyy instytut [Ukrainian State Geological Prospecting Institute], 1994, (in Ukrainian).
- Tretyak K. R., Vovk A. I. *Doslidzhennya dynamiky horyzontal'nykh rukhiv zemnoyi kory Yevropy za danymy GNSS sposterezhen' (2000-2010 rr.)* [Study of dynamics of horizontal crustal movements in Europe according to GNSS observation (2000-2010)], *Geodynamics*, 2012, No. 2(13), pp. 5–17 (in Ukrainian).
- Tretyak K. R., Kul'chyt'skyy A. Ya., Sidorov I. S. *Heodynamika Tereble-Rits'koho tekhnogennoho polihonu* [Geodynamics of Tereblja-Riksky technogenic range], *Geodynamics*, 2009, No. 1(8), pp. 47–52 (in Ukrainian).
- Chekunov A. V. *Evoljucija astenolitov i ee geologicheskie sledstvija* [Evolution of asthenolithes and its geological consequences], *Dokl. AN USSR, Ser. B* [Reports of AN USSR, Ser. B], 1988, No. 3, pp. 30–34 (in Russian).
- Shlapins'kyy V. Ye. *Heolohichna budova Skybovoho, Krosnens'koho i Duklyans'ko-Chornohors'koho pokryviv Ukrayins'kykh Karpat ta perspektyvy yikh naftohazonosnosti* [Geological structure and oil-and-gas content of Skybian, Krosno and Duklya-Chornohora nappes of the Ukrainian Carpathians], *Avtoref. dys. ... kand. heol. nauk* [Author's abstract of PhD Thesis in Geol. Sciences], Lviv, IHHHK NANU [IGGCM NASU], 2015, 22 p. (in Ukrainian).
- Gnyp A. R. *Fractal variations of the Transcarpathians, West Ukraine, seismicity and their potential relation to changing phases of local seismic cycles* // *Acta Geophysica*, 2007, Vol. 55, No. 3, pp. 288–301, DOI 10.2478/s11600-007-0015-5.
- Kováčiková S., Logvinov I., Nazarevych A., Nazarevych L., Pek J., Tarasov V., Kalenda P. *Seismic activity and deep conductivity structure of the Eastern Carpathians*. *Stud. Geophys. Geod.*, 2016, 60, P. 1–17, DOI: 10.1007/s11200-014-0942-y.
- Nazarevych A., Nazarevych L. *Modern and alpine geodynamics of Ukrainian Carpathians (multi-tier "crocodile" or "shaking hand" and "fir-tree" tectonics)* // *Proceedings XYIII-th congress of the Carpathian-Balkan geological association*. September 3–6, 2006, Belgrade, Serbia. Belgrade, 2006, pp. 399–401.
- Nazarevych L., Nazarevych A. *Seismicity and geomechanics of Ukrainian Carpathians region lithosphere*. *Proceedings XYIII-th congress of the Carpathian-Balkan geological association*. September 3–6, 2006, Belgrade, Serbia. Belgrade. 2006, pp. 402–403.
- Starostenko V., Janik T., Kolomiyets K. Et al. *Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton*. *Tectonophysics*, 2013, **608**, 1049–1072.

Надійшла 15.05.2016 р.