

УДК 534.6 + 550.38 + 551.59 *А.В. Назаревич¹, З.І. Любінецький², А.Ю. Микита¹, Л.М. Каратаєва², М.О. Мельник², Д.В. Малицький¹, В.П. Мезенцев², Л.Є. Назаревич³, Ю.П. Коваль¹*

ДОСЛІДЖЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ІНФРАЗВУКУ НА РЕЖИМНІЙ ГЕОФІЗИЧНІЙ СТАНЦІЇ “БЕРЕГОВЕ” У ЗАКАРПАТТІ

Подано перші результати досліджень атмосферного інфразвуку на режимній геофізичній станції “Берегове” у Закарпатті. Описано особливості методики досліджень та апаратуру, наведено та коротко проаналізовано отримані дані, окреслено напрями подальших досліджень.

Ключові слова: атмосферний інфразвук; геодинаміка; метеорологічні фактори; прогноз землетрусів.

Вступ

Атмосферний інфразвук – цікавий об’єкт досліджень не тільки для метеорологів та дослідників фізики атмосфери, але і для геофізиків – дослідників геодинамічних процесів. Це пов’язано з тим, що саме геодинамічні процеси (землетруси, зсуви, провали на шахтних полях тощо) є одними з джерел атмосферного інфразвуку, про що свідчать дані ряду досліджень ([Гамбурцев и др., 2004; Адушкін и др., 2006; Липеровский и др., 2008; Сорока та ін., 2010] та ін.). Тому спостереження за атмосферним інфразвуком можуть стати одним з ефективних методів контролю за такими процесами.

Постановка проблеми

Співавтори цієї статті – спеціалісти Львівського центру Інституту космічних досліджень НАН та НКА України (ЛЦ ІКД) разом з колегами впродовж кількох років проводять дослідження атмосферного інфразвуку та його зв’язків з різними природними явищами, зокрема і з сей-

смічністю [Сорока та ін., 2010]. Отримані за допомогою власної, спеціально розробленої апаратури дані, а також дані інших дослідників ([Гамбурцев и др., 2004; Адушкін и др., 2006; Липеровский и др., 2008] та ін.) вказують на наявність такого зв’язку, зокрема, для періодів значної активізації регіонального сеймотектонічного процесу та досить сильних (з $M \geq 5-6$) землетрусів у радіусі до 1,5–2 тис. км від пункту спостережень. Тому було вирішено здійснити дослідження атмосферного інфразвуку в Закарпатті, щоб виявити можливі його зв’язки з місцевою сейсмічністю та сеймотектонічним процесом. Враховувалось те, що це одна з найбільш сейсмоактивних територій України [Евсеев, 1961; Мельничук, 1982; Пронишин, Пустовитенко, 1982; Костюк та ін., 1997; Дослідження..., 2005; Назаревич, Назаревич, 2000, 2005, 2006а, 2006б], а також те, що для досліджень зручно використати розміщені тут режимні геофізичні станції (РГС) Карпатського відділення інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (рис. 1).

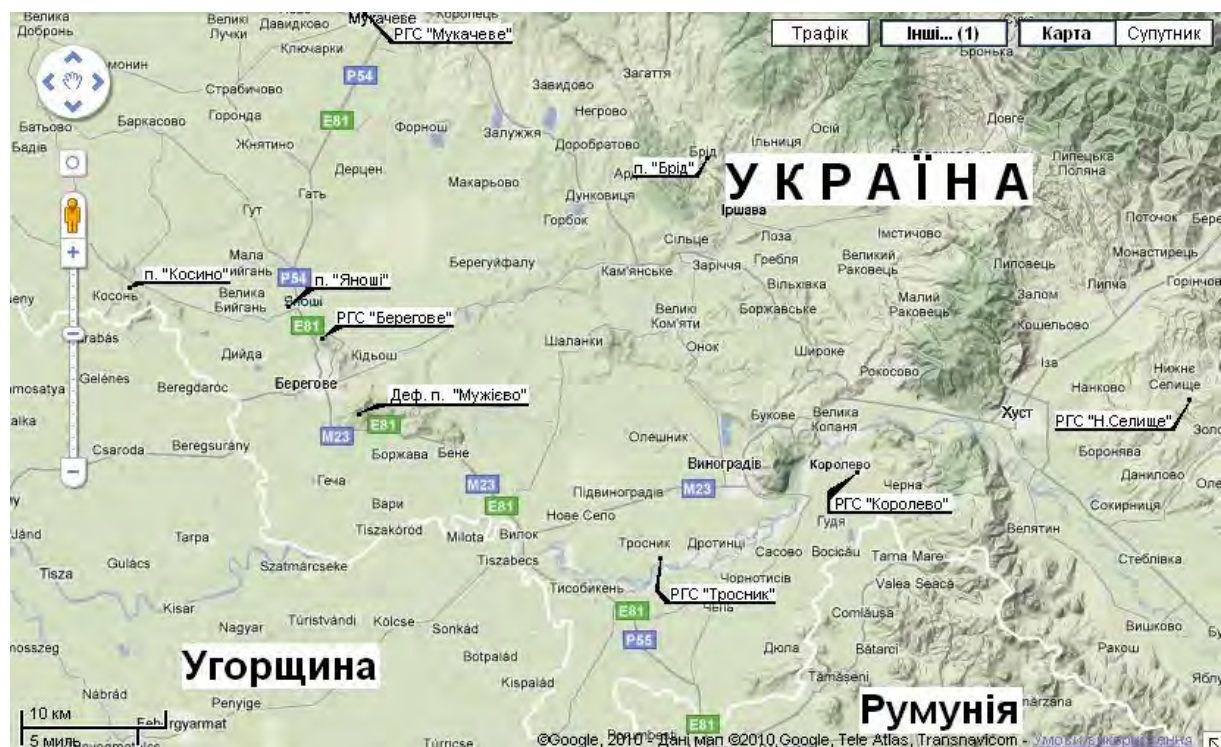


Рис. 1. Розташування пунктів геофізичних спостережень на території центральної частини Закарпаття (на картооснові Google)

Інфразвукова апаратура

Для досліджень атмосферного інфразвуку спеціалісти ЛЦ ІКД [Сорока та ін., 2010] використовують акустичну апаратуру (рис. 2), яка складається частково з готових та модифікованих вузлів та блоків [Пономарев и др., 1974], а частково з вузлів та блоків власної розробки. Атмосферний інфразвук реєструють у двох частотних діапазонах – 0,01–1 Гц та 1–10 Гц. В діапазоні 0,01–10 Гц (НЧ канал) використовують вимірвальний мікрофон з чутливістю 50 мВ/Па та відповідний апаратурний блок (рис. 2, а). Максимальний

рівень звукового тиску для мікрофона – 135 дБ. Рівень еквівалентного звукового тиску, що відповідає власним шумам приймача, не більше ніж 60 дБ. Постійна складова на виході приймача не більше за 10 мВ. В діапазоні 1,0–10,0 Гц (ВЧ канал) використано мікрофон, розроблений та виготовлений в ЛЦ ІКД (рис. 2, б). Його чутливість – 400 мВ/Па. Максимальний рівень звукового тиску до 130 дБ. Рівень власних шумів приймача не більше за 1 мВ. Сигнали з обох мікрофонів подаються на АЦП і далі реєструються в комп'ютері на жорсткий диск або флеш-пам'ять.



а



б

Рис. 2. Апаратура для реєстрації рівня атмосферного інфразвуку у низькочастотному (0,01–1 Гц) (а) та високочастотному (1–10 Гц) (б) діапазонах

Організація досліджень на РГС “Берегове”

Для початку досліджень атмосферного інфразвуку в Закарпатті вибрано РГС “Берегове”, яка розташована на північно-західному схилі гори Ардово – крайньої північно-західної структури Березівського горбогір'я (див. рис. 1). Зазначимо, що саме горбогір'я разом з прилеглими територіями належить до Березівської сейсмогенної зони, однієї з найактивніших у Закарпатті [Евсеев, 1961; Мельничук, 1982; Пронишин, Пустовитенко, 1982; Костюк та ін., 1997; Назаревич, Назаревич, 2000, 2005, 2006а, 2006б; Дослідження..., 2005]. Для цієї зони характерні порівняно сильні землетруси, зокрема, такі землетруси відбулися тут у 1931 р. (M=3,9, I=6 балів). 1965 р. (M=3,7, I=6,5 бала), 1977 р. (M=3,5 I=6,5 бала), 2006 р. (M=4, I=6 балів) [Евсеев, 1961; Василенко и др., 1969; Костюк та ін., 1997; Пронишин та ін., 2007].

Ще одним фактором, врахованим під час вибору місця для проведення досліджень атмосферного інфразвуку, було те, що на РГС “Берегове” наявна підземна штольня, прокладена на глибині 10–12 м масиву порід (рис. 3), яка, в разі розміщення приймальних мікрофонів у ній, повинна забезпечити часткове відмежування від атмосферних вітрових завад, особливо по високочастотному (1–10 Гц) інфразвуковому акустичному каналу. Саме у штольні (див. рис. 3 і 4, а) встановлено мікрофони та підсилювальні блоки інфразвукової акустичної апаратури, з'єднані з

АЦП та реєструвальним комп'ютером – ноутбуком (рис. 4, б) сигнальними кабелями.

Результати досліджень

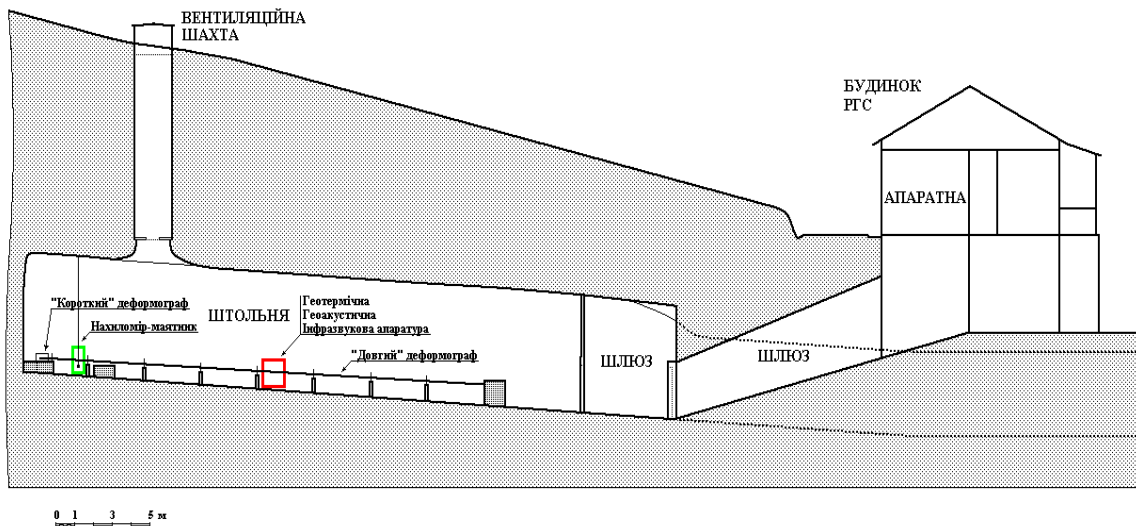
Результати експериментальних досліджень атмосферного інфразвуку, проведених у штольні РГС “Берегове” за період з 18.07.2012 р. до 15.08.2012 р. у високочастотному (1–10 Гц) та низькочастотному (0,01–1 Гц) діапазонах, наведено на рис. 5, а та б відповідно.

Аналізуючи коротко наведені дані, можемо констатувати таке.

Рівень фонового інфразвуку у штольні РГС у низькочастотному (0,01–1 Гц) діапазоні (рис. 5, б) становить 0,15–0,2 Па, тобто приблизно $1,5\text{--}2 \times 10^{-6}$ відносно атмосферного тиску. У разі появи додаткових джерел (передусім, атмосферних збурень) рівень інфразвуку зростає на порядок – до 1,5–2 Па, деколи – до 5–7 Па і навіть до 13,2 Па.

У ВЧ діапазоні (рис. 5, а) рівень атмосферного інфразвуку є істотно меншим, фонові значення – 0,01–0,02 Па. Якщо з'являються додаткові джерела (насамперед атмосферні збурення), рівень інфразвуку зростає у 20–30 разів – до 0,2–0,3 Па, а інколи до 0,7–0,84 Па.

Порівняльний аналіз даних ВЧ і НЧ каналів показує, що поряд із загальною синхронністю змін рівня інфразвуку спостерігаються і певні особливості у кожному з каналів, найпомітніші у поведінці коротких піків максимальних амплітуд.



а

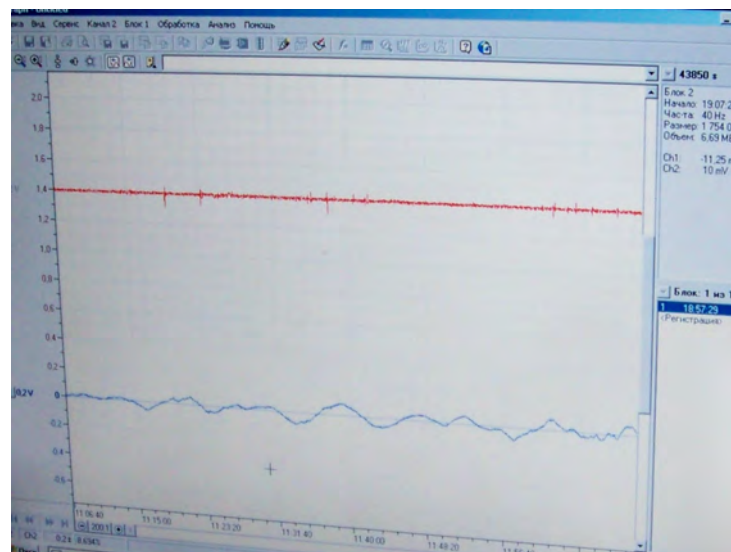


б

Рис. 3. Режимна геофізична станція “Берегове”: а – розріз; б – план штольні (показано розташування деформографів, нахиломіра, геоакустичної, геотермічної та інфразвукової апаратури)

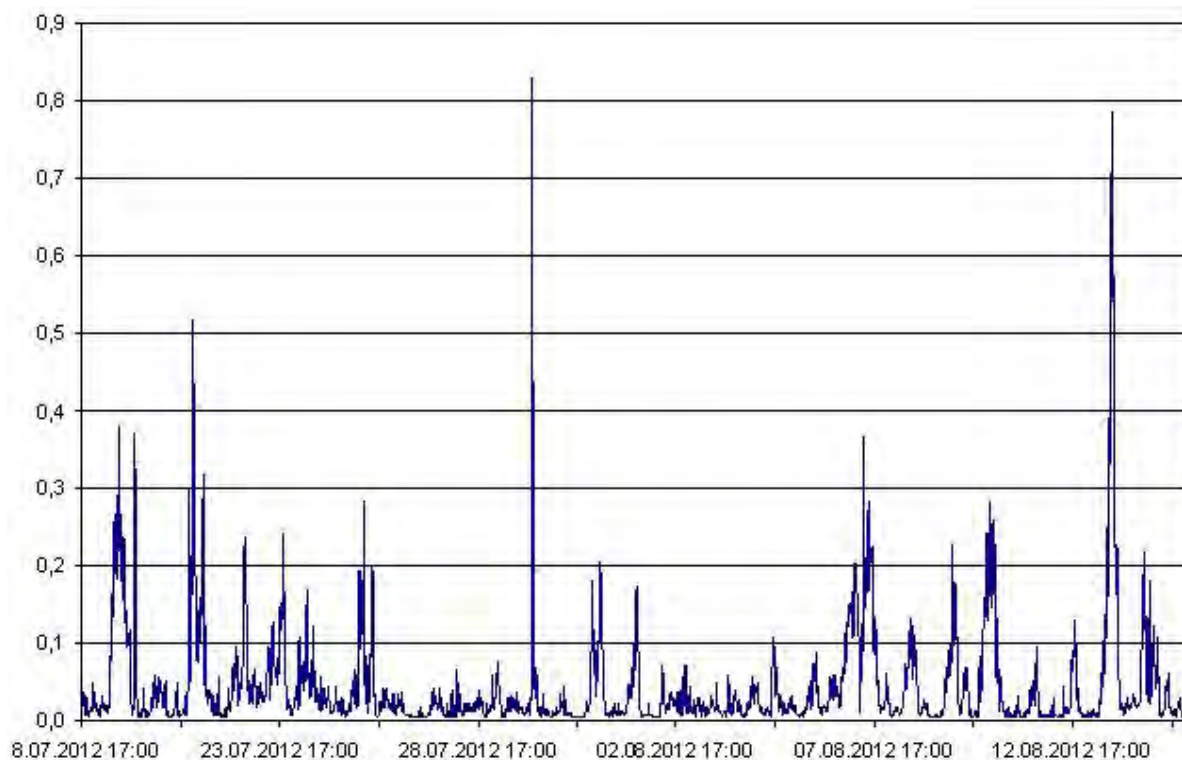


а

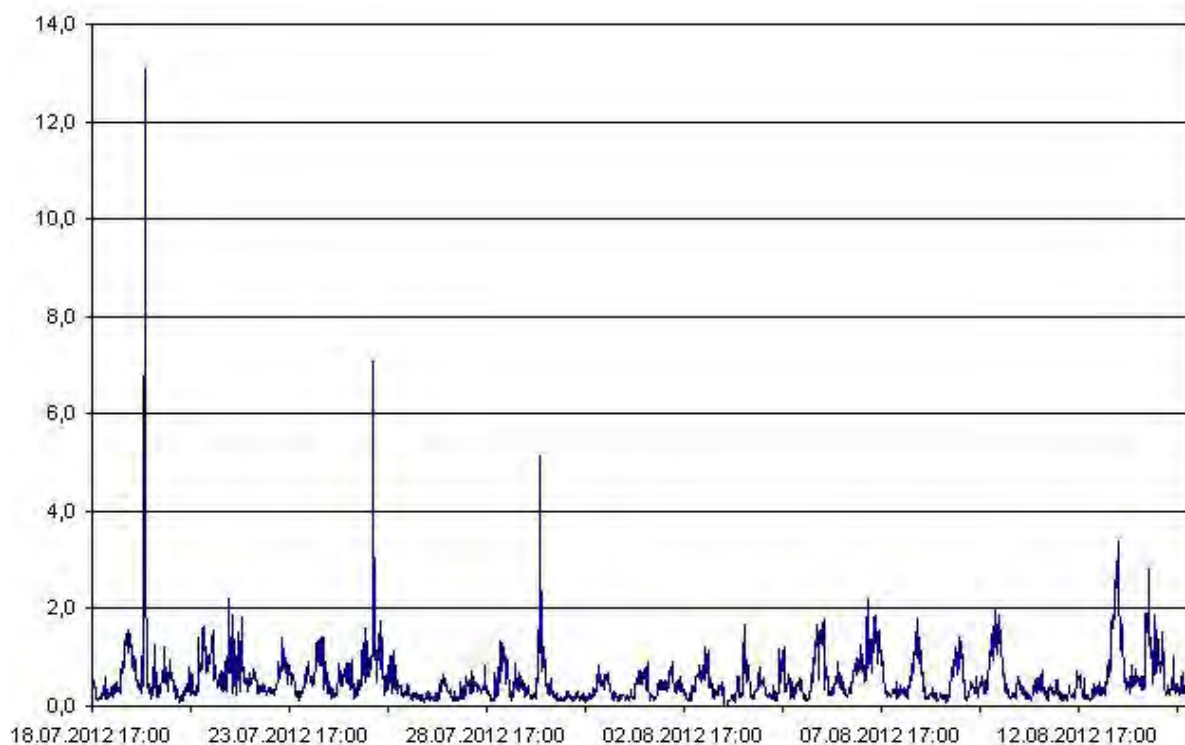


б

Рис. 4. Інфразвукова апаратура у штольні РГС “Берегове” (а) та поточні дані високочастотного (вгорі) та низькочастотного (внизу) каналів на моніторі ноутбука (б)



а



б

Рис. 5. Рівень атмосферного інфразвуку у штольні РГС “Берегове” за період з 18.07.2012 р. до 15.08.2012 р. у високочастотному (1–10 Гц) (а) та низькочастотному (0,01–1 Гц) (б) діапазонах

Короткий аналіз результатів

Попередній аналіз показує тісний зв’язок зареєстрованих варіацій рівня атмосферного інфразвуку з варіаціями атмосферного тиску та швидкістю вітру. Про це свідчить порівняння зареєстрованих варі-

ацій з даними метеостанції “Берегове”, розташованої за 4,5 км від РГС “Берегове”. Так, якщо вітер посилюється до 5–10 м/с, рівень інфразвуку в НЧ каналі зростає на порядок – до 1,5–2 Па, а при сильних поривах вітру та грозах – до 5–7 Па і більше.

Це й не дивно, оскільки варіації тиску і є першопричиною виникнення вітру, а це викликає різномасштабні турбулентності, що спричиняють мікрофлуктуації тиску, які створюють як пориви вітру, так і інфразвук. А враховуючи нелінійний зв'язок турбулентності з швидкістю вітрового потоку, саме різкі пориви вітру, особливо під час гроз, здебільшого власне й спричиняють спостережувані варіації та різкі піки рівня атмосферного інфразвуку.

Ми провели порівняльний аналіз зареєстрованих рівнів інфразвуку з сейсмічними даними, щоб виявити можливі взаємозв'язки між ними. При цьому враховано результати досліджень, виконаних раніше [Сорока та ін., 2010]. На жаль, у період спостережень на РГС "Берегове" Карпатська сейсмічна мережа ні відчутних (з $M \geq 2-2,5$), ні слабших місцевих землетрусів у Закарпатті не зафіксувала.

Також зроблено спробу виявити можливі зв'язки зареєстрованих рівнів інфразвуку з сильнішими (з $M \geq 4$) регіональними (в радіусі до 1,5–2 тис. км) та найсильнішими (з $M \geq 6$) світовими землетрусами, що відбулись у період наших спостережень. У результаті проведеного аналізу видимих зв'язків між цими землетрусами та амплітудними параметрами інфразвуку виявити не вдалося. Це може бути пов'язано як з відсутністю достатньо сильних землетрусів на доволі близьких відстанях, так і з екрануванням тектонічними структурами Східних та Південних Карпат і Динарид сейсмічних та деформаційних впливів, що поширюються від вогнищ землетрусів Чорноморсько-Анатолійського, Балкано-Егейського та Апенінського сегментів Альпійсько-Гімалайського сейсмогенного поясу Євразії у літосфері, а також інфразвуку від цих самих вогнищ, який поширюється у нижній (до 1–2 км) тропосфері.

Висновки

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- Розроблена інфразвукова апаратура досить добре забезпечує виконання моніторингових досліджень.
- Умови спостережень на РГС "Берегове" (віддаленість від джерел техногенних шумів, наявність штольні для розміщення мікрофонів та спеціального приміщення для апаратури з електроживленням) загалом сприяють проведенню тут інфразвукового моніторингу.
- Фоновий рівень атмосферного інфразвуку в штольні РГС "Берегове" в НЧ діапазоні (0,01–1 Гц) становить 0,15–0,2 Па, тобто порядку $1,5-2 \times 10^{-6}$ відносно атмосферного тиску.
- Якщо вітер посилюється до 5–10 м/с, рівень інфразвуку в НЧ діапазоні зростає на порядок – до 1,5–2 Па, а при сильних поривах вітру та грозах – до 5–7 Па і більше.
- У ВЧ діапазоні рівень атмосферного інфразвуку є істотно меншим, фонові значення –

0,01–0,02 Па. У разі появи атмосферних збурень цей рівень зростає у 20–30 разів – до 0,2–0,3 Па, а інколи й до 0,7–0,84 Па.

- Помітних зв'язків рівня атмосферного інфразвуку з сейсмічністю не виявлено, але ні відчутних місцевих, ні достатньо сильних і порівняно не-далеких регіональних чи світових землетрусів за період спостережень не відбулося.

Щодо напрямів подальших досліджень атмосферного інфразвуку, то це передусім розширення мережі пунктів спостережень та поглиблений комплексний аналіз зареєстрованих варіацій інфразвуку і різних факторів впливу (насамперед метеорологічних), розроблення нових варіантів методик досліджень, вдосконалення апаратури.

Література

- Адушкин В.В., Спивак А.А., Кишкина С.Б. и др. Динамические процессы в системе взаимодействия геосфер на границе земная кора – атмосфера // Изв. РАН. Физика Земли. – 2006. – № 7. – С. 34–51.
- Василенко Е.М., Иващук А.И., Бокун А.Н., Костюк О.П., Сомов В.И., Скаржевский В.В. Береговое землетрясение 24 октября 1965 г. и его последствия // Сейсмичность Украины. – К: Наук. думка, 1969. – С. 91–102.
- Гамбурцев А.Г., Кондорская Н.В., Олейник О.В. и др. Ритмы в сейсмичности Земли // Изв. РАН. Физика Земли. – 2004. – № 5. – С. 95–107.
- Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат / Під ред. В.І. Старостенка. – Київ: Наук. думка. – 2005. – 256 с.
- Костюк О., Сагалова Є., Руденська І., Пронішин Р., Кендзера О. Каталог землетрусів Карпатського регіону за 1091–1990 рр. // Праці НТШ. – Львів. – 1997. – Т.1. – С. 121–137.
- Липеровский В.А., Похотелов О.А., Мейстер К.В., Липеровская Е.В. Физические модели связей в системе литосфера – атмосфера – ионосфера перед землетрясениями // Геомагнетизм и аэронавтомия. – 2008. – 48, № 6. – С. 831–843.
- Мельничук М.И. О генетической связи сейсмических процессов с тектоникой Карпатского региона // Геофиз. журн. – 1982. – Т. 4, № 2. – С. 34–41.
- Назаревич А.В., Назаревич Л.Є. Геодинаміка і особливості сеймотектонічного процесу Берегівської горстової зони (Закарпаття) // Геодинаміка. – 2000. – № 1 (3). – С. 131–147.
- Назаревич Л.Є., Назаревич А.В. Особливості вогнища Берегівського землетрусу 1965 року за комплексом даних (геоінформаційні аспекти) // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – Київ. – 2005. – Т.2. – С. 74–79.
- Назаревич Л.Є., Назаревич А.В. Особливості підготовки та характеристики вогнища Берегівського землетрусу 1965 року (за макросейсмічними даними) // Геодинаміка. – 2006. – 1 (5). – С. 61–74.

- Назаревич Л.С., Назаревич А.В. Характерні землетруси Берегівської сейсмогенної зони: особливості джерела і макросейсмічного поля // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Геологія. – 2006. – № 38–39. – С. 42–47.
- Пономарев Е.А., Ерущенков А.И., Турчанинов И.П. Прибор для регистрации инфраакустических гравитационных атмосферных волн // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. – 1974. – Вып. 34.
- Пронишин Роман, Стасюк Анатолій, Вербицький Юрій, Корнієнко Євгенія, Ярема Іван. Макросейсмічні прояви при Берегівських землетрусах 15 і 23 листопада 2006 року // Нові геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища. Матеріали наукової конференції. 9–11 жовтня 2007 р., м. Львів. – Львів: СПОЛОМ. – 2007. – С. 82–83.
- Сорока С.О., Мезенцев В.П., Каратаєва Л.М. Зв'язок сейсмічної активності з атмосферним інфразвуком // Відбір і обробка інформ. – 2010. – Вип. 32 (108). – С. 61–66.
- Пронишин Р.С., Пустовитенко Б.Г. Некоторые аспекты сейсмического климата и погоды в Закарпатье // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1982. – № 10. – С. 74–81.
- Евсеев С.В. Землетрясения Украины. – К.: Изд-во АН УССР, 1961. – 76 с.

**ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ИНФРАЗВУКА
НА РЕЖИМНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ “БЕРЕГОВО” В ЗАКАРПАТЬЕ**

**А.В. Назаревич, З.И. Любинецкий, А.Ю. Микита, Л.М. Каратаева, М.Е. Мельник,
Д.В. Малицкий, В.П. Мезенцев, Л.Е. Назаревич, Ю.П. Коваль**

Представлены первые результаты исследований атмосферного инфразвука на режимной геофизической станции “Берегово” в Закарпатье. Описаны особенности методики исследований и аппаратура, приведены и кратко проанализированы полученные данные, очерчены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: атмосферный инфразвук; геодинамика; метеорологические факторы; прогноз землетрясений.

**STUDY OF ATMOSPHERIC INFRASOUND
ON REGIME GEOPHYSICAL STATION “BEREGOVE” IN TRANSCARPATHIANS**

**A.V. Nazarevych, Z.I. Lyubinetskyy, A.Yu. Mykyta, L.M. Karatayeva, M.O. Melnyk,
D.V. Malyskyy, V.P. Mezentsev, L.Ye. Nazarevych, Yu.P. Koval**

In the article the first results of study of atmospheric infrasound on regime geophysical station “Beregove” in Transcarpathians are presented. The peculiarities of researches methods and apparatus are described. Received data are given and briefly analyzed and directions for further researches are specified.

Key words: atmospheric infrasound; geodynamics; meteorological factors; earthquakes prediction.

¹Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна
НАН України, м. Львів

Надійшла 06.12.2012

²Львівський центр Інституту космічних досліджень НАН та НАКА України,
м. Львів

³Відділ сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Львів