

культури (сівба-сходи) та в середині (викидання волоті – молочна стиглість). Також, за кліматичних змін очікується скорочення тривалості міжфазних періодів, це пов'язано зі збільшенням середньої температури повітря, що в свою чергу викликає пришвидшення настання наступних фаз розвитку культури. Значне підвищення температури повітря під час проходження критичних періодів розвитку кукурудзи може негативно відбитися на кінцевому результаті - врожаю.

Перспективою подальших досліджень є більш детальне врахування просторової та часової мінливості можливих кліматичних змін, проведення досліджень реакції на зміни клімату на формування продуктивність посівів цієї культури, а також розробка рекомендацій стосовно адаптації агротехніки вирощування кукурудзи в умовах кліматичних змін.

DOI: 10.51587/9798-9866-95907-2022-009-24-29

ІГНАТИШИН Василь Васильович,

канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співр.,

Відділ сейсмічності Карпатського регіону

Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України;

доцент,

Закарпатський угорський інститут ім. Ф. Ракоці II;

ORCID: 0000-0003-0727-2132

ІГНАТИШИН Адальберт Васильович,

інженер,

Відділу сейсмічності Карпатського регіону

Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України

ДЕФОРМОМЕТРИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В ЗОНІ ОАШСЬКОГО ГЛИБИННОГО РОЗЛОМУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЕОФІЗИЧНИХ ПОЛІВ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ ВНУТРІШНЬОМУ ПРОГИНІ ЗА ПЕРІОД 2014-2017 РР.

У зв'язку із сейсмічністю Закарпатського внутрішнього прогину та підвищення активності сейсмотектонічних процесів в регіоні вивчення сучасних рухів кори, зокрема горизонтальних, є важливим завданням. Закарпаття є сейсмогенеруючим регіоном України. Тут протягом року реєструються багато слабких землетрусів на фоні яких відбуваються і сильніші, відчутні під-

земні поштовхи. Періодичність прояву таких землетрусів також є змінною, в основному від одного-двох до шести землетрусів. Відмічені поштовхи рівномірно розподілені в часовому інтервалі протягом року. Аналіз попередніх геодинамічних та сейсмологічних спостережень в регіоні відмітив факт зв'язку рухів кори та реєстрацію місцевих землетрусів. Зокрема виявлено прояв місцевих землетрусів в часових інтервалах інтенсивних рухів верхніх шарів земної кори. Сучасні горизонтальні рухи кори вимірюються за допомогою нахиломірів та деформографів. Територія Закарпаття в плані деформографічних спостережень є найбільш вивченою. Починаючи з 80-х років тут почали проводити вимірювання сучасних горизонтальних рухів кори спочатку в штольнях біля с. Мужієве, де було змонтовано два горизонтальні кварцові деформометри базами 22 м та 11 м. За результатами спостережень за рухами кори на пункті деформографічних спостережень «Берегове-1» відмічено розширення порід в близько меридіональному напрямку та стиснення порід в близько широтному напрямку. В кінці 80-х років в штольні режимної геофізичної станції «Берегове» (м. Берегове) було змонтовано два горизонтальні кварцові деформографи з базами відповідно 24.5 м та 6 м, у взаємно перпендикулярних напрямках. Аналіз отриманих результатів в основному підтвердив висновки отримані на деформометричній станції «Берегове-1»: розширення порід в близько меридіональному напрямку та стиснення в близько широтному напрямку. Також відмічено зв'язок місцевої сейсмічності (землетруси в центральній частині Закарпаття) з аномальними рухами кори в зоні Берегівського горбогір'я. З метою вивчення геодинамічних характеристик зони Оашського глибинного розлому та їх зв'язку із горизонтальними рухами кори інших регіонів в 1998-1999 рр. в штольні замкової гори в смт Королеве Берегівського району автором було змонтовано горизонтальний кварцовий деформометр базою 24.5 м з азимутом 80°. За тривалий час роботи деформометра отримано важливі результати, що проливають світло на картину геодинамічного стану регіону: переважаюче розширення порід на відміну від рухів кори в Берегівському горбогір'ї. Отримані результати показали на знакозмінні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині, які супроводжувалися сейсмічною активізацією регіону. Результати деформометричних спостережень, що проливають світло на геодинамічний стан регіону, зокрема в зоні Оашського глибинного розлому показали, що рухи кори є періодичними. Періоди в цих рухах лежать в інтервалі 10-12 років, в тому числі інтенсивні рухи, які продовжувалися 10 років та декілька років, що характеризуються або відємними рухами або рухами з малими швидкостями. Загальна картина сучасних горизонтальних рухів в регіоні представ-

лена розширеннями порід з віковими рухами чисельно рівними $+10 \times 10^{-7}$. Характерною особливістю рухів кори є наявність періодів низьких швидкостей тривалістю 2-3 років, що супроводжується періодами підвищення сейсмічності регіону і які продовжуються до інтервалів знакозмінних процесів. Знакозмінні процеси є індикаторами сейсмотектонічних процесів в сейсмогенеруючих регіонах, які в основному передують проявам місцевої сейсмічності. Відмічено вплив окремих факторів на сейсмотектоніку регіону, зокрема вплив метеофакторів, гідрогеологічних факторів на швидкість акумуляції напружено-деформованого стану порід. Попередні дослідження вказали на аномальні величини в геофізичних полях, що передують місцевим землетрусам: аномальні варіації параметрів магнітного поля Землі в інтервалі інтенсивних рухів кори в регіоні, підвищені величини параметрів радіоактивного фону напередодні проявів місцевої сейсмічності, аномальні варіації електромагнітної емісії в різних частотних діапазонах в інтервалах активних сейсмотектонічних процесів в сейсмонебезпечному регіоні. Тому важливим є комплексне вивчення всіх геологічних та геофізичних процесів в екологічно небезпечному регіоні, побудови моделі геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину та інших потенційно небезпечних в сейсмічному аспекті регіонах.

Аналіз публікацій. Актуальність вивчення сучасних горизонтальних та вертикальних рухів кори, особливо в сейсмонебезпечних зонах очевидна. Важливо отримати результати геодинаміки таких регіонів, зокрема Закарпатського внутрішнього прогину та інших екологічно небезпечних регіонів, враховуючи їх сейсмологічний аспект, використовуючи при цьому всі наявні методи та методики. Особливістю сучасних наукових спостережень в даному регіоні є наявність унікальних геофізичних методів, що відмічені своєю високою точністю та надійністю результатів. Мова йде про дослідження рухів кори за допомогою деформографів, нахиломірів та інших геодезичних методів.

Варіації гідротермічних факторів спричиняють складні коливання верхнього шару земної поверхні, які відображаються на результатах високоточних спостережень. У роботі «Сезонні гідротермічні вертикальні рухи земної поверхні в умовах різних за гранулометричним складом ґрунтів»¹ наведено величини сезонних гідротермічних вертикальних рухів земної поверхні на різних глибинах для середньосуглинистих та піщаних ґрунтів, досліджено основні гідрометеорологічні чинники, що

1 Павлик В. Г. Сезонні гідротермічні вертикальні рухи земної поверхні в умовах різних за гранулометричним складом ґрунтів. Геодинаміка. 2010. 1(9). С. 22–27.

спричиняють періодичні вертикальні переміщення земної поверхні. Глибинними сейсмічними дослідженнями літосфери встановлені аномалії пружних характеристик гірських порід на різних глибинах у вигляді так званих зон низьких швидкостей. Зі збільшенням глибини залягання порід структурні зміни мінеральної речовини зникають за рахунок її пружнопластичного перетворення. Зони знижених швидкостей термодинамічної природи у земній корі нестійкі та чутливі до змін глибинних термодинамічних умов, а їх потужність, інтенсивність, розташування в земній корі залежать від глибинних теплових потоків регіону та теплопровідності порід². Зміни середньорічних значень того чи іншого елемента магнітного поля Землі впродовж року називаються віковим ходом. У роботі «Віковий хід геомагнітного поля на території Європи за період 1995–2005 рр.»³ представлено результати дослідження просторової структури вікового ходу геомагнітного поля на території Європи, побудовано серію карт вікової варіації (SV) для X, Y, Z, D – компонент геомагнітного поля для п'ятирічних інтервалів 1995–2000 і 2000–2005 рр., порівняно з міжнародними моделями IGRF: у віковому ході на території Європи виділено глобальні структури – фокуси SV та досліджено їхню кінематику. У роботі «Моделювання вогнищ землетрусів з використанням теоретичних сейсмограм»⁴ розглядається модифікація матричного методу моделювання синтетичних сейсмограм для шаруватого середовища з використанням задачі на власні вектори і власні значення. В останні роки у зв'язку з стрімким розвитком обчислювальної техніки стало простішим практичне застосування методів розв'язку динамічних задач сейсмології для побудови хвильового поля на вільній поверхні. У роботі «Моделирование сейсмических разрезом с учетом напряженного состояния среды»⁵ наведено методики для оброблення даних у сейсморозвідці – для інверсії часових сейсмічних розрізів в глибинні, що дають змогу екстраполювати одновимірні моделі фізичних параметрів середовища у навколишній простір, можливе коригування моделі з урахуванням термодинамічного стану середовища, розрахунок різних фізичних параметрів середовища в межах класичної та некласичної теорій деформацій, розрахунок синтетичних сейсмограм. Хвильове поле, що

2 Корчин В. А. Корові термобаричні перетворення мінеральної речовини і пов'язане з ними сейсмічне вертикальне розшарування літосфери. Геодинаміка. 2010. 1(9). С. 50–56.

3 Максимчук В. Ю., Городиський Ю. М., Марченко Д. О. Віковий хід геомагнітного поля на території Європи за період 1995–2005 рр. Геодинаміка. 2010. 1(9). С. 67–76.

4 Малицький Д. В., Пак Р. М., Козловський Е. М., Муйла О. О., Хитряк О. І. Моделювання вогнищ землетрусів з використанням теоретичних сейсмограм. Геодинаміка. 2010. 1(9). С. 77–80.

5 Кулиев Г. Г., Агаев Х. Б. Моделирование сейсмических разрезом с учетом напряженного состояния среды. Геодинаміка. 2010. 1(9). С. 81–86.

реєструється під час проведення сейсморозвідувальних робіт, містить інформацію про геолого-геофізичні особливості середовища. У роботі «Розв'язання оберненої задачі сейсморозвідки з використанням енергетичного підходу до аналізу хвильових полів»⁶ розглянуто реалізацію енергетичного підходу до аналізу хвильового поля відносно розроблюваної інформаційної моделі геологічного середовища, наведено розв'язання оберненої задачі сейсморозвідки для отримання геофізичних параметрів геологічного середовища з використанням польової сейсморозвідувальної інформації. Деформації земної поверхні відображають складні процеси глибинної динаміки Землі, які виникають за поступально-обертового руху планети в просторі. В результаті досліджень⁷ отримано та аналізується повний розв'язок на власні числа та власні вектори для тензора швидкостей деформацій досліджуваної території. На основі багаторічних спостережень на геодинамічному мікрополігоні у Полтаві здійснено оцінку впливу атмосферних опадів на вертикальні рухи верхнього шару ґрунту та земної поверхні, наведено числові характеристики дії атмосферних опадів на вертикальні зміщення земної поверхні, а також їхні сезонні особливості⁸. Катастрофічні паводки і повені у карпатському регіоні останніми десятиліттями, дали поштовх до детальнішого вивчення причин, оцінки небезпеки та можливих наслідків виникнення цих явищ та супутніх їм геодинамічних процесів. Проведено дослідження та виявлено закономірності багаторічної сезонності процесів за допомогою автокореляційного та спектрального аналізу, а також розраховано інтегральний показник ймовірності селевої активізації⁹. У роботі «Тектонічне районування Карпат у світлі теренової тектоніки. Частина 1. Основні елементи карпатської споруди»¹⁰ розглянуто тектонічні одиниці Карпат з точки зору терейного аналізу, відмічено, що Карпатський ороген складений трьома головними елементами: мікроконтинентальними терейнами, сутурами і флішово-моласовою акреційною призмою, зокрема, у регіоні розташовані два основні терейни: північний АЛКАПА та південний Тися-Дакія. У роботі «Геодинамічні умови формування Мармароського кристалічного масиву у

6 Стародуб Ю. П., Карпенко О. В. Розв'язання оберненої задачі сейсморозвідки з використанням енергетичного підходу до аналізу хвильових полів. Геодинаміка. 2010. 1(9). С. 87–95.

7 Марченко О. М., Третяк К. Р., Серант О. В., Висотенко Р. О. Оцінювання тензора швидкостей деформацій земної кори за даними GPS-спостережень у східній Європі. Геодинаміка. 2011. 1(10). С. 5–16.

8 Павлик В. Г. Вплив атмосферних опадів на вертикальні рухи земної поверхні на геодинамічному полігоні у Полтаві. Геодинаміка. 2011. 1(10). С. 31–37.

9 Чепурна Т. Б., Кузьменко Е. Д. Довгостроковий часовий прогноз селевої активності на території гірськокарпатського гідрогеологічного району. Геодинаміка. 2011. 1(10). С. 38–46.

10 Гнилко О. М. Тектонічне районування Карпат у світлі теренової тектоніки. Частина 1. Основні елементи карпатської споруди. Геодинаміка. 2011. 1(10). С. 47–52.

Східних Карпатах»¹¹ пропонується детальне вивчення масиву і прилеглих територій комплексом геофізичних методів та буріння тут параметричної свердловини, що буде великим внеском у пізнання геологічної будови цієї частини Карпат. Істотною характерною ознакою вибухів у постійних гірничодобувних кар'єрах є схожість їхніх хвильових форм на записах однієї і тієї самої станції, її можна використовувати як критерій ототожнення вибухів, для широкомасштабного використання схожих між собою подій в сейсмологічних дослідженнях виникли лише з масовим впровадженням цифрової реєстрації¹². Відомо про зв'язок місцевої сейсмічності та варіацій параметрів магнітного поля Землі, яке залежить від багатьох чинників. В роботі «Динаміка сонячної активності та варіацій геомагнітного поля і його екологічної обуреності»¹³ аналізується динаміка сонячної активності та пов'язаних з нею варіацій геомагнітного поля і його екологічної збуреності на території України, показано, що сонячна активність сьогодні знаходиться у стані переходу до спаду. Відмічено із-за ідентичності тектонічних процесів, які проходять в конкретних вогнищевих зонах (стиск, розрив, зсув), характер аномалій буде повторюватися, і відповідно буде повторюватися загальний характер послідовності збурень у відповідних фізичних полях¹⁴. Лазерна технологія вимірювання різноманітних фізичних параметрів застосовується в багатьох напрямках як наукових досліджень, технічних розробок, медицини, так і суспільного життя. У роботі «Прогноз особливо небезпечних сейсмічних подій за допомогою комплексу лазерних приладів»¹⁵ запропоновано для здійснення сучасних наукових і технічних геофізичних досліджень приклад застосування різноманітних лазерних апаратів, які можуть забезпечити глибоке наукове осягнення фізики Землі, зокрема дослідження деформацій земної кори. У роботі «Сучасний стан та перспективи розвитку сейсмологічних досліджень в Карпатському регіоні України»¹⁶ наведено коротку історію проведення сейсмологічних спостережень в Карпатському регіоні, обґрунтовано необхідність вдосконалення сейсмічної апаратури

11 Круппський Ю. З., Марусяк В. П. Геодинамічні умови формування Мармароського кристалічного масиву у Східних Карпатах. Геодинаміка. 2011. 1(10). С. 71–74.

12 Вербицький Ю. Т., Гнип А. Р., Нарівна М. М., Новотна О. М., Ярема І. І. Ототожнення вибухів у Карпатському регіоні України за ознакою схожості хвильових форм. Геодинаміка. 2011. 1(10). С. 103–109.

13 Сумарук Т. П. Динаміка сонячної активності та варіацій геомагнітного поля і його екологічної обуреності. Геодинаміка. 2011. 1(10). С. 116–120.

14 Гордиенко Ю. А., Андрущенко Ю. А., Солонец А. И. Сейсмопрогностический мониторинг на основе системы геофизических наблюдений ГЦСК. Геодинаміка. 2011. 1(10). С. 121–126.

15 Брицький А. І., Щербина С. В. Прогноз особливо небезпечних сейсмічних подій за допомогою комплексу лазерних приладів. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 32–34.

16 Вербицький С. Т., Вербицький Ю. Т. Сучасний стан та перспективи розвитку сейсмологічних досліджень в Карпатському регіоні України. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 35–37.

та автоматизації обробки отриманих даних; показано перелік діючих сейсмічних станцій, їх обладнання та основні параметри, схему розташування; подано перелік задач, які вирішуються за допомогою отриманих матеріалів сейсмологічних спостережень, названо основні напрямки модернізації апаратних засобів отримання сейсмічної інформації, зв'язку, програмного забезпечення. У роботі «Геоінформаційні технології в інтерпретації геофізичних даних методами нової інтерпретаційної гравіметрії (НІГ)»¹⁷ показано, що введення елементів геоінформаційних технологій у процес інтерпретації аномалій поля сили тяжіння привело до можливості побудови тривимірних густинних моделей земної кори довільної детальності, які відповідають критеріям Адамара, а отримані результати дозволили виявити нові і підтвердити раніше відомі закономірності. Запропонована модель геологічного розвитку Українських Карпат з точки зору терейного аналізу та з врахуванням нових геологічних матеріалів, які одержано при геолого-картувальних роботах¹⁸. Роботи по уточненню вогнищ Закарпатських землетрусів показали три групи повторних подій, які було виявлено в мукачівській серії землетрусів 2005–2006 років¹⁹. Використання уточнених відносних вступів і станційних поправок розташували їхні вогнища у майже вертикальній площині вздовж азимуту $\sim 120^\circ$, яка приблизно збіглася з площиною скиду визначеного для землетрусів єдиного механізму вогнища. Отримані результати узгоджуються з даними місцевих механізмів вогнища, режиму розтягу в земній корі епіцентральної зони землетрусів і значного горизонтального градієнту вертикальних рухів земної поверхні у цій зоні. За допомогою алгоритму, створеного на основі того, що ступінь взаємної кореляції між записами повторних подій на одній і тій самій станції зменшується експоненціально із збільшенням відстані між їхніми джерелами, було визначено взаємне розташування вогнищ двох груп повторних землетрусів мукачівської серії 2005–2006 рр., які у кожній із цих груп утворили майже плоску поверхню²⁰. У роботі «Деформаційний моніторинг територій розташування важливих інженерних об'єктів»²¹ розглянуто результати багаторічних досліджень зсувних процесів,

17 Гайдай Н. К. Геоінформаційні технології в інтерпретації геофізичних даних методами нової інтерпретаційної гравіметрії (НІГ). Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 55–57.

18 Гнилко О. М. Геологічна еволюція Карпат у світлі теренового аналізу. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 64–65.

19 Гнип А. Р. Уточнення вогнищ повторних землетрусів у Закарпатті. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 66–68.

20 Гнип А. Р. Уточнення взаємного розташування повторних землетрусів у Закарпатті за даними однієї сейсмічної станції. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 69–71.

21 Гусева Т. В., Передерін В. П., Розенберг Н. К., Черненко В. Н. Деформаційний моніторинг територій розташування важливих інженерних об'єктів. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 75–77.

виявлено наявність деформування земної поверхні: зміщення одних пунктів відбувається по замкнутій поступально-зворотній траєкторії, іншій частині пунктів властива поступальна спрямованість горизонтальних зміщень. Зазначено у роботі «Особливості геологічної будови зони Калуського розлому за сейсмічними даними»²², що найбільші аномалії вертикальних переміщень властиві ділянкам на які діє максимальний техногенний вплив при щоденному перекачуванні великих об'ємів води, за аналізом і переінтерпретацією хвильової картини сейсмічних профілів одержана у плані нова форма Калуського розлому за серією дугоподібних площин зміщення порід, сформованих процесами ерозії. Робота «Сучасні уявлення про глибинну геологічну будову Карпатського регіону на основі прямого 3D моделювання гравітаційного поля»²³ присвячена питанню вивчення глибинної тектонічної будови Українських Карпат, де на основі результатів раніше виконаних сейсмічних досліджень, геологічних побудов, петрофізичної та свердловинної інформації, створена просторова модель глибинної будови літосфери в межах Карпатського регіону. Зроблена оцінка адекватності моделі з точки зору її відповідності гравітаційному полю, обґрунтовано необхідність проведення регіональних комплексних робіт по створенню узгодженої моделі глибинної будови Карпат. У роботі «Зміни пружних характеристик гірських порід від мінералогічного складу, високого тиску і температури»²⁴ досліджено вплив мінерального складу, структурно-текстурних особливостей на пружні властивості порід Українського щита при дії на них різного тиску і температур, представлено статистично обґрунтовані кореляційні залежності швидкості розповсюдження повздовжніх і поперечних хвиль від мінерального складу на різних глибинах. У роботі «Дослідження енергоінформаційного методу визначення геофізичних параметрів геологічного середовища за даними сейсморозвідки»²⁵ показано, що метод енергоінформаційного аналізу хвильового поля (МЕА-ХП) на прикладі даних 3D сейсморозвідки узагальнює названі методи і дозволяє визначати геофізичні параметри геологічного середовища (ГС) до вивчення його бурінням та геофізичним дослідженням свердловин щодо випробування

22 Заяць Х. Б. Особливості геологічної будови зони Калуського розлому за сейсмічними даними. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 86–88.

23 Казюка І. М., Федченко Т. О., Петровський О. П., Онищук О. М., Ганженко Н. С., Аніщенко Ю. В. Сучасні уявлення про глибинну геологічну будову Карпатського регіону на основі прямого 3D моделювання гравітаційного поля. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 95–97.

24 Карнаухова Е. Е., Корчин В. А. Зміни пружних характеристик гірських порід від мінералогічного складу, високого тиску і температури. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 104–106.

25 Карпенко В. М., Стародуб Ю. П., Карпенко О. В., Баснеєв О. В. Дослідження енергоінформаційного методу визначення геофізичних параметрів геологічного середовища за даними сейсморозвідки. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 104–106.

ГС на наявність нафтогазових покладів. У роботі «Сейсмологічний комплекс для спостереження й прогнозування локальних землетрусів у Дніпропетровській області»²⁶ показано результати попередніх досліджень по з'ясуванню природи землетрусів і забезпеченню сейсмобезпеки в техногенно-небезпечних районах Криворізького залізрудного й Павлоградського вугільного басейнів, показано можливості високо-чутливої сейсмічної станції UK15, при реєстрації віддалених і місцевих Криворізьких і Павлоградських землетрусів. У роботі «Зона низьких сейсмічних швидкостей в земній корі і їх петрофізичні особливості»²⁷ представлено, що в земній корі ($H=5-20$ км) зони низьких швидкостей (ЗНШ) можуть мати термобаричну природу, які виникають і змінюються залежно від глибинних температурних градієнтів і температурних потоків, на конфігурацію цієї зони фізичні зміни параметрів порід впливають більше, ніж мінеральний склад, а в земних надрах з низькими температурами і тепловим потоком наявність зони мало ймовірна. Тектономагнетизм вивчає часові зміни магнітного поля Землі, які обумовлені сучасними геодинамічними і фізико-хімічними процесами в літосфері Землі. Авторами роботи «Підсумки багаторічних тектономагнітних досліджень у Карпатах»²⁸ приведено основні результати використання тектономагнітних досліджень для рішення задач сучасної геодинаміки і прогнозу землетрусів в Карпатському регіоні. На основі нелінійної теорії деформівних твердих тіл автором Кулієвим Г. Г.²⁹ досліджуються процеси ущільнення, розущільнення, фазових переходів і руйнувань в умовах внутрішніх структур Землі. Відмічено, що втрати стійкості стану рівноваги по геометричній формозміні (структурна нестійкість) може передувати процесам розущільнення, фазових переходів і руйнувань. За результатами досліджень у роботі «Схема та методи комплексних геолого-геофізичних досліджень зсувонебезпечних територій»³⁰, проведених у Карпатському регіоні, запропоновано раціональну схему робіт та охарактеризовано можливості геолого-геофізичних методів для вивчення геодинамічних процесів у гірських масивах на потенційно зсувонебезпечних територіях.

26 Кендзера О. В., Пігулевський П. Г., Щербина С. В., Свистун В. К. Сейсмологічний комплекс для спостереження й прогнозування локальних землетрусів у Дніпропетровській області. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 110–112.

27 Корчин В. А. Зона низьких сейсмічних швидкостей в земній корі і їх петрофізичні особливості. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 122–124.

28 Кузнецова В. Г., Климкович Т. А., Максимчук В. Ю. Підсумки багаторічних тектономагнітних досліджень у Карпатах. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 131–133.

29 Кулієв Г. Г. Деформаційний супровід процесів ущільнення, розущільнення та фазових переходів у внутрішніх структурах Землі. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 138–140.

30 Куровець І. М., Грицик І. І., Зубко О. С., Кучер З. І., Мельничук С. П., Михальчук С. О. Схема та методи комплексних геолого-геофізичних досліджень зсувонебезпечних територій. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 141–143.

У роботі «Відображення тектоніки Східних Карпат в тепловому полі»³¹ відмічено, що декілька рівнів теплового поля відображають головні етапи тектонічного розвитку і особливості структури літосфери, показано: аномалії високих теплових потоків обумовлені кайнозойськими геодинамічними процесами, зв'язаними з колізією між Європейською плитою і мікроплитою Алькапа, а густина теплового потоку змінюється від 35-40 мВт/м² в південно-західній частині Східно-Європейського кратону і Передкарпатському прогині до 50-60 мВт/м² в Зовнішніх Карпатах і до 80-120 мВт/м² в Панонському басейні. У роботі «Обстеження зсувонебезпечних ділянок мобільними геоелектричними методами»³² наведено результати застосування геоелектричних методів становлення короткоімпульсного електромагнітного поля, вертикального електрорезонансного зондування (ВЕРЗ) та георадарного зондування на зруйнованій зсувом ділянці дороги, показано, що основною причиною розмиву полотна дороги та формування зсуву є наявність зони підвищеної фільтрації ґрунтових вод. Виявлення та картування водних потоків і ділянок підвищеної фільтрації може оперативно здійснюватися комплексом мобільних геофізичних методів. У роботі «Неогенова та сучасна геодинаміка і сейсмічність літосфери Закарпаття»³³ на основі аналізу структури неогенових відкладів Закарпатського прогину простежено неогенову геодинаміку регіону. Проведено порівняння з сучасними даними та зроблено висновок, що сучасний геодинамічний режим літосфери прогину є певним продовженням трансформації неогенового геодинамічного процесу з субкарпатського до зонного з наростанням проявів процесів поперечного рисунку та їх просторовою міграцією (в загальному – з південного сходу на північний захід). Показано, що середня субкарпатська смуга підвищеної сейсмічної активності в прогині пов'язана з розривними порушеннями неогенового закладання його осьової зони. У роботі «Обчислення швидкостей і векторів поляризації в слабоанізотропних середовищах»³⁴ показано, як теорію збурень можна застосувати для середовищ, які не є слабоанізотропними. Найповніше сейсмічну небезпеку для розрахунку сейсмостійкості об'єктів задають розгорнутим у часі повним вектором сейсміч-

31 Кутас Р. І. Відображення тектоніки Східних Карпат в тепловому полі. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 147-149. 32. Левашов С.П., Якимчук М.А. Корчагін І.М. Обстеження зсувонебезпечних ділянок мобільними геоелектричними методами. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 161-163.

32 Левашов С. П., Якимчук М. А. Корчагін І. М. Обстеження зсувонебезпечних ділянок мобільними геоелектричними методами. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 161-163.

33 Лозиняк П. Ю., Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. Неогенова та сучасна геодинаміка і сейсмічність літосфери Закарпаття. Геодинаміка. 2011. 2(11). С. 170-172.

34 Роганов, Ю. В. , Стовас, А., & Роганов, В. (2021). Обчислення швидкостей і векторів поляризації в слабоанізотропних середовищах. Geophysical Journal, 43(3). С. 64-81.

них коливань: розрахунковими акселерограмами, сейсмограмами та велосиграми, результати розрахунків хочуть використовувати з метою вирішення методологічних і практичних завдань захисту від землетрусів³⁵. У роботі «Применение методов сейсмотомографии для решения различных задач в горно-геологическом направлении»³⁶ представлено розроблений метод шахтної сейсморозвідки, заснований на реєстрації каналових та граничних хвиль, що дозволяє отримати детальну геолого-геофізичну модель ділянки родовища. Результати сейсмологічних та геодинамічних параметрів важливі для різних напрямків наукових досліджень. У роботі «Применение методов сейсмотомографии для решения различных задач в горно-геологическом направлении»³⁷ проведено визначення тензора сейсмічного моменту шляхом обертання їхніх хвильових форм, яке базується на точковій моделі джерела, а також на методі для визначення синтетичних сейсмограм за допомогою матричного методу для хвиль, які поширюються в пружному, горизонтально-шаруватому середовищі. Використання при розрахунках залежностей модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від зсувної деформації відкривають можливість врахувати нелінійну реакцію ґрунтової товщі на сейсмічні впливи³⁸, при цьому кожний шар сейсмогеологічної моделі ґрунтової товщі характеризувався товщиною шару, густиною, швидкістю поздовжніх і поперечних хвиль, нелінійними залежностями модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від зсувної деформації. У роботі «Механізм вогнища і тектонічний контекст землетрусу 29.09.2017 р. поблизу м. Стебник»³⁹ представлено розв'язання оберненої задачі щодо визначення механізму вогнища землетрусу методом інверсії хвильових форм у випадку обмеженої кількості станцій та за знаками вступів Р-хвиль на цих станціях, відмічено, що фокальний механізм, визначений за вступами Р-хвиль надійніший. Сейсмологічні спостереження необхідні для виконання практичних робіт з сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків, що передбачає використання методу реєстрації короткоперіодних мікросейсм, який вважається одним

35 Кендзера, О., & Семенова, Ю. В., (2021). Сейсмічна реакція різних за будовою ділянок території Києва на сейсмічні навантаження. *Geophysical Journal*, 43(5). С. 150–164.

36 Садчиков А., Желаева Н., Токушева Ж., Пономарева М. Применение методов сейсмотомографии для решения различных задач в горно-геологическом направлении. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2021. 1(92). С. 50–54.

37 Малицький Д., Майкесел Д. Применение методов сейсмотомографии для решения различных задач в горно-геологическом направлении. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2021. 1(92). С. 108–116.

38 Кендзера О., Семенова Ю. Вплив осадкової товщі на сейсмічні коливання на території Ташлицької гідроаккумуляційної електростанції. *Геодинаміка*. 2018. 1(24). С.91–99.

39 Малицький Д., Гнип А., Грицай О., Муровець А., Кравець С., Козловський Е., Микита А. Механізм вогнища і тектонічний контекст землетрусу 29.09.2017 р. поблизу м. Стебник. *Геодинаміка*. 2018. 1(24). С.100–110.

з найбільш ефективних і об'єктивних інструментальних методів СМР при малих термінах проведення польових сейсмологічних досліджень⁴⁰.

Комплексні геофізичні дослідження. В роботі проведено аналіз результатів сучасних рухів в Карпатському регіоні, впливу деформацій земної кори на сейсмічний стан регіону. Вказано на актуальність комплексного аналізу результатів метеорологічних та геофізичних спостережень у Берегівському районі Закарпатської області (за даними геофізичних приладів Режимної Геофізичної Станції «Тросник», пунктів деформометричних спостережень Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України). Проведено аналіз результатів деформометричних спостережень помісячно за 2013, 2014, 2015 роки та порівняно з часовим розподілом місцевих землетрусів Закарпатському внутрішньому прогині, подано пояснення їх з точки зору геодинамічного стану регіону. Підтверджено існування кореляційного зв'язку між деформаціями Земної кори та рівнем води в свердловині №838 та свердловині глибиною 8 м на Режимній Геофізичній Станції «Тросник» Інституту Геофізики ім. Субботіна НАН України. За період деформографічних спостережень з 1999 року по 2015 рік відмічено спад швидкості деформацій. Характер швидкостей вікового ходу за 17 років спостережень незмінний - розширення порід в широтному напрямку, величина -11×10^{-7} . На Пункті Деформометричних Спостережень «Королеве» реєструється розширення гірських порід, хоча із меншими швидкостями. За 2011 рік віковий хід становить **+1503.21 нстр** в сторону розширення. Віковий хід сучасних рухів земної кори за 2012 рік становить **-10.77x10⁻⁷**. Величина швидкості сучасних рухів за 2013 рік в зоні Оашського розлому становить: **+10x10⁻⁷**. Зміщення точки спостережень за 2014 рік рівне «0».

Середньорічні значення температури повітря +11.37° С. Підтверджено несуттєвий вплив температури повітря на деформаційні процеси в інтервали спостережень рік і більше. Зміна характеру сучасних рухів в періодичних деформаційних процесах в зоні Оашського розлому, приводить до підвищення сейсмічної активності Закарпатського внутрішнього прогину, що підтверджується результатами багаторічних спостережень на пунктах геофізичних та деформометричних спостережень. Сейсмічна активність регіону проявляється в періоди аномальних варіацій динамічних характеристик геодинамічного процесу, викликаних гідрогеологічним фактором. Періоди інтенсивних варіацій параметрів деформаційних процесів супроводжуються інтервалами варіацій параметрів геофізичних процесів. Особливо

40 Вербицький С., Купльовський Б., Прокопишин В., Стецьків О., Ніщіменко І., Брич Т., Крук О. Розрахунок приростів інтенсивності сейсмічних струшувань методом реєстрації високочастотних мікросейсми (на прикладі майданчика забудови в м. Ужгород. Геодинаміка. 2021. 1(30). С. 58–64.

виділяються останні роки спостережень, коли число зареєстрованих сейсмічних подій зросло. В листопаді 2014 року відбулася серія відчутних місцевих землетрусів на кордоні з Румунією, в південно-західній частині Виноградівського району.

Проведені сейсмотектонічні дослідження в Закарпатті за 2015 рік, отримано такі результати: сучасні рухи представляють собою розширення порід в регіоні з величиною $+12 \times 10^{-7}$. Сейсмічність активізувалася – протягом тільки липня 2015 року було зареєстровано 70 землетрусів в Тячівському районі, 6 з яких були відчутні для населення. Відмічено особливості прояву геофізичних полів в інтервалі підготовки та прояву місцевої сейсмічності.

Методи дослідження. Розрахунок середньодобових, середньомісячних, середньорічних значень параметрів спостережуваних величин геофізичних полів; розрахунок кінематичних характеристик параметрів геофізичних полів та сучасних горизонтальних рухів земної кори; побудова залежностей параметрів геофізичних полів від часу; розрахунок вікових ходів параметрів досліджуваних геофізичних полів. Тому важливо проводити розширення сітки геофізичних спостережень. Необхідно збільшення кількості геофізичних методів: вимірювання параметрів вертикальних рухів, гравітаційні методи спостереження, нахиломірні спостереження, деформографічні спостереження на різних ділянках. Закарпатського внутрішнього прогину, вимірювання сучасних горизонтальних рухів кори в інших напрямках (ПДС «Королево»), проведення паралельних геодезичних вимірювань для порівняння результатів деформометричних спостережень в Закарпатському внутрішньому прогині.

Деформографічні спостереження на Закарпатському внутрішньому прогині та їх результати за період 2014-2018 рр.

2014 рік. Деформометричні спостереження – високоточні вимірювання сучасних горизонтальних рухів земної кори. Унікальність їх в тому, що пункти деформометричних спостережень в Україні розташовані в Закарпатті. На території Закарпаття функціонують 2 деформометричні станції: на РГС «Берегове» (змонтована в 1989 році) та ПДС «Королеве», яка змонтована в 1999 році в штольні, на глибині 9 м від денної поверхні. Спостереження зміщень точки вимірювань сучасних рухів на Пункті Деформометричних спостережень «Королеве», (Закарпатська область, Виноградівський район, смт Королево, вул. Луначарського, б/н) проводиться за допомогою горизонтального деформографа (напрямок схід-захід) базою 24.5 м. Реєстрація сучасних горизонтальних рухів земної кори в Закарпатському внутрішньому прогині проводяться в зоні Оашського глибинного розлому

на реєстраторі фотооптичної системи. Деформограма має тижневий запас ходу. Швидкість обертання барабана реєстратора досягається за допомогою часового механізму типових метеорологічних станцій і становить 3мм за годину. Середня температура штольні, де змонтований деформограф азимутом 80° (в напрямку Схід-Захід), температура штольні становить +10°С. За результатами деформометричних спостережень проведених з початку 80-х років 20 ст. на «Берегове-1» та «Берегове-2» спостерігали стиснення порід в близько широтному напрямку та стиснення - в перпендикулярному. Результати деформометричних спостережень виконаних на ПДС «Королево» відмітили інтенсивне розширення в напрямку схід-захід. Актуальність результатів деформометричних спостережень на ПДС «Королево» викликано розташуванням деформографічної системи в зоні Оашського розлому, Закарпатського внутрішнього прогину. Виявлено зв'язок знакозмінних сучасних горизонтальних рухів та періодів сейсмічної активності в регіоні в районі Беретівського горбогір'я, що знайшло підтвердження в результатах геодинамічних спостережень на Режимних Геофізичних Станціях Відділу Сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України та Пункту Деформометричних спостережень «Королево». В 2014 році продовжувалися режимні геофізичні спостереження на геологічних структурах Закарпаття, зокрема, проведено дослідження варіацій щоденних спостережень рухів земної кори (рисунок 1 а, б) .

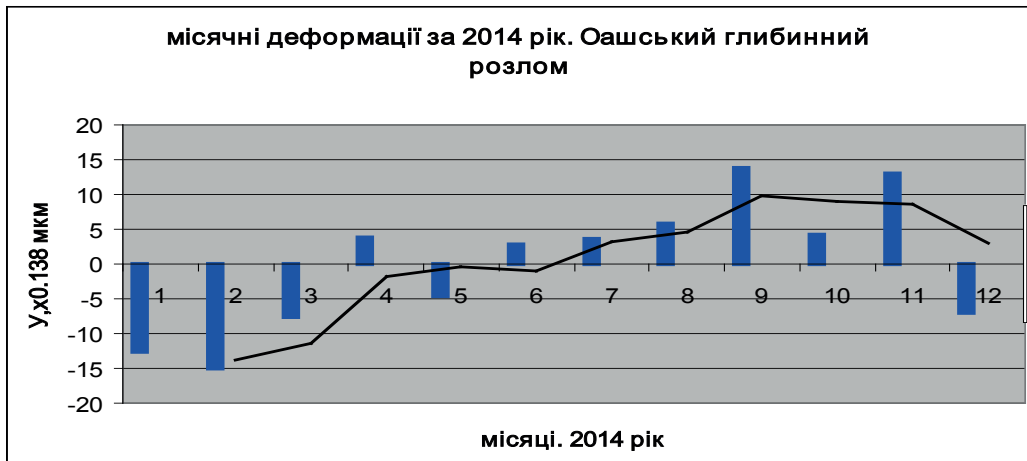


Рис.1. Місячні деформації на ПДС «Королево» за 2014 рік.

Розрахунки показують, що на протязі 2014 року величина зміщення земної кори є стиснення величиною -0.414 мкм. Величина деформації за 2014 рік становить: $-16 \cdot 10^{-9}$ ($-0.16 \cdot 10^{-7}$). Амплітуда річних коливань становить 13.8 мкм,

проте загальне річне зміщення приблизно рівне нулю. Знакозмінний процес не завершився з 2012 року. За 2013 рік спостерігали розширення величиною $+10 \times 10^{-7}$. Середньорічні рухи за період із 1999 року по 2014 рік проходять із швидкістю $+11.2 \times 10^{-7}$. Показано зміщення точки спостережень на пункті деформетричних спостережень «Королеве» за 2014 рік (рисунок 2).

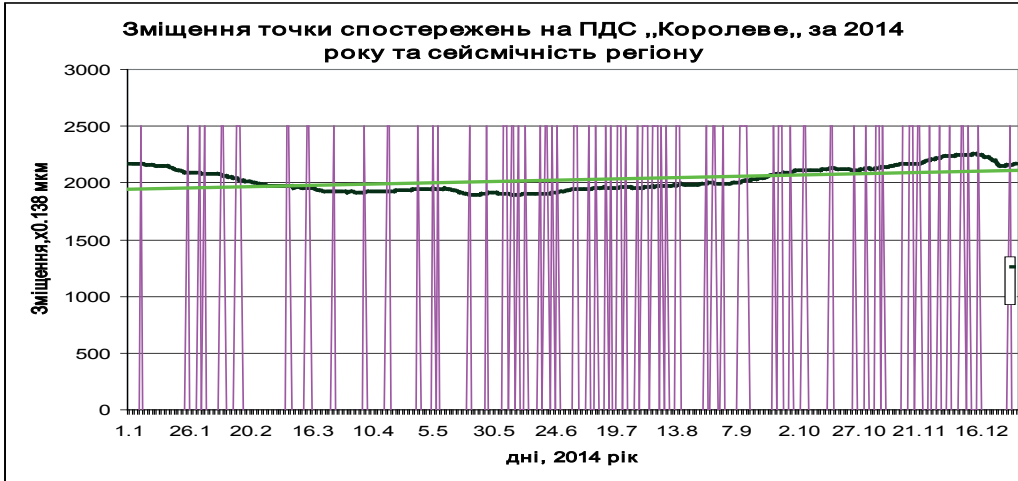


Рис. 2. Зміщення точки спостережень на ПДС «Королеве» (суцільна лінія зеленого кольору) за 2014 рік та місцеві сейсмічні події (діаграма червоного кольору).

Аналізуючи криву деформацій та просторово-часовий розподіл сейсмічних подій, відмічено кореляцію кількості зареєстрованих землетрусів та екстремальних точок сучасних рухів (рисунок 3).

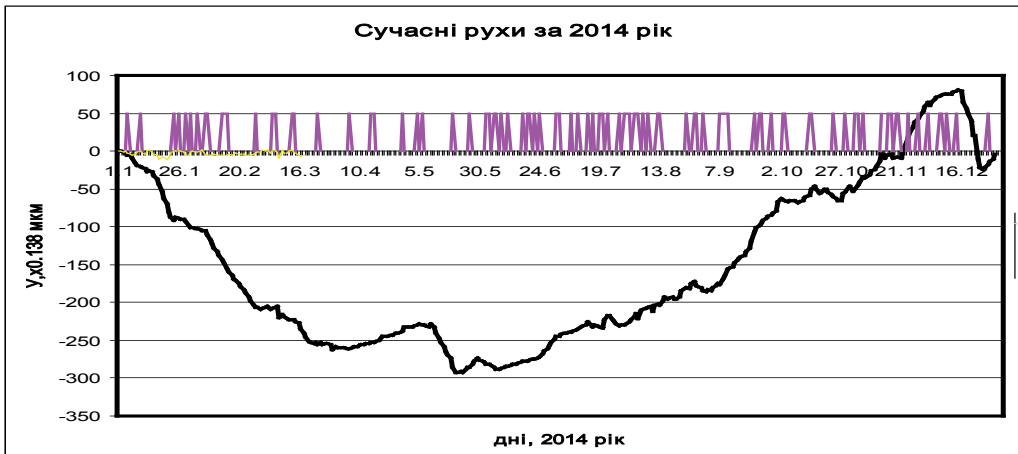
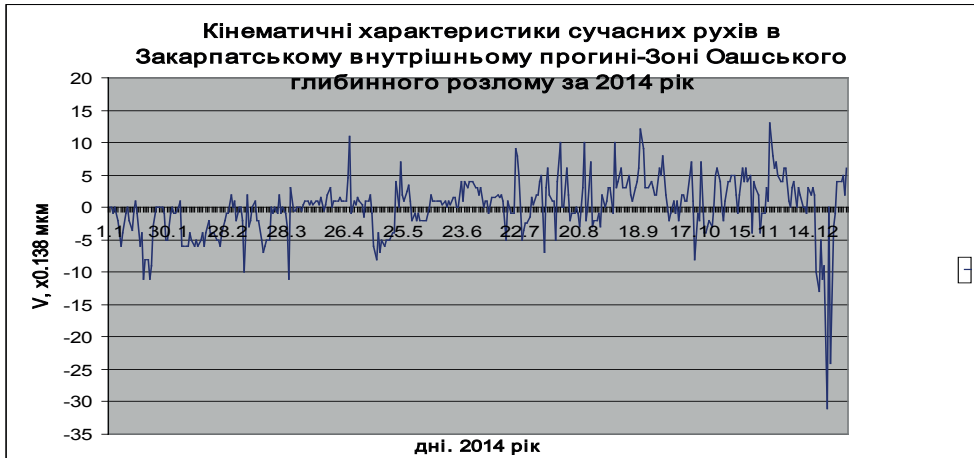
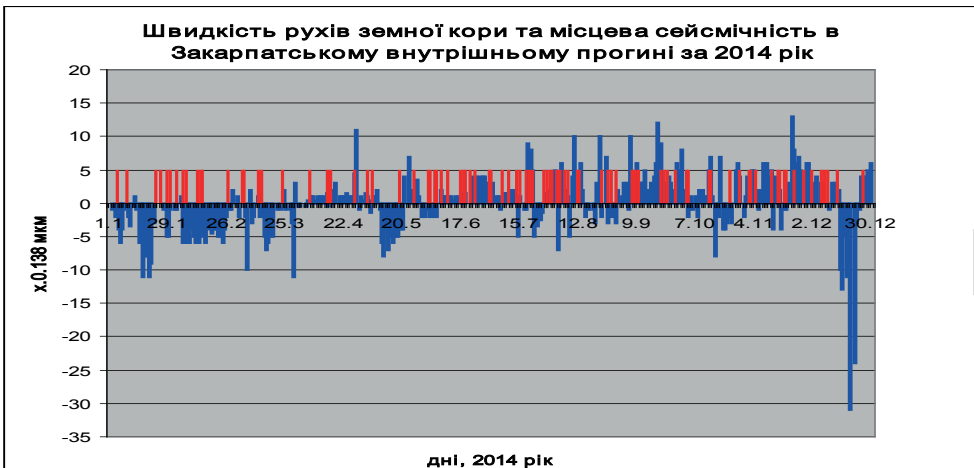


Рис. 3. Зміщення земної кори (лінія чорного кольору) та сейсмічність регіону (діаграма червоного кольору) за 2014 рік.

Перша половина року характерна стисненням порід, яка переходить в розширення порід, загальний рух є «0». Частота прояву сейсмічних подій підвищена на початку року в літні та осінні місяці 2014 року, особливо при стисненні порід та розширенні в другій половині року, коли були зареєстровані відчутні місцеві землетруси, епіцентри який розташовані на кордоні і з Румунією 15 листопада. Проведено аналіз сучасних рухів, розрахунок швидкостей добових рухів та порівняння їх із сейсмічною активністю Закарпатського внутрішнього прогину (рисунки 4 а, б).



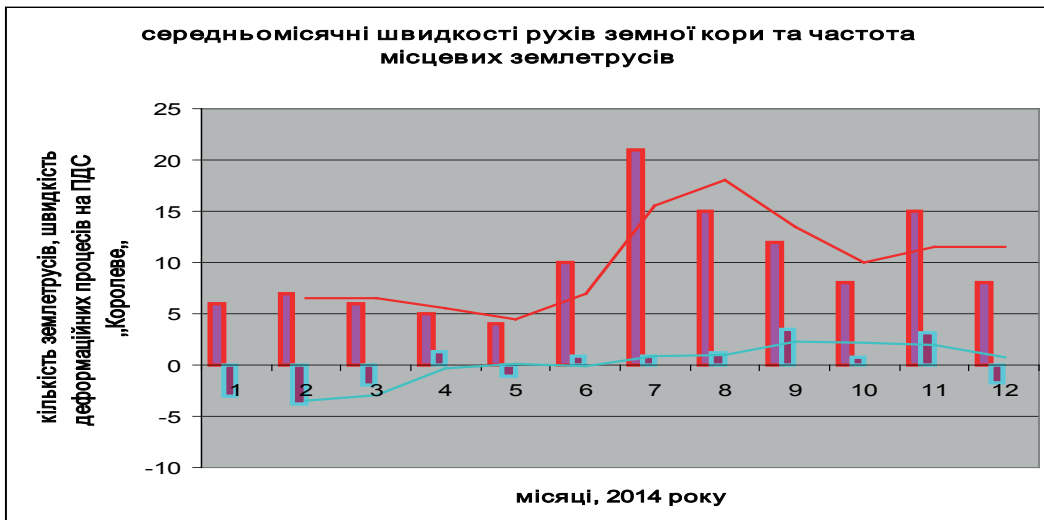
а)



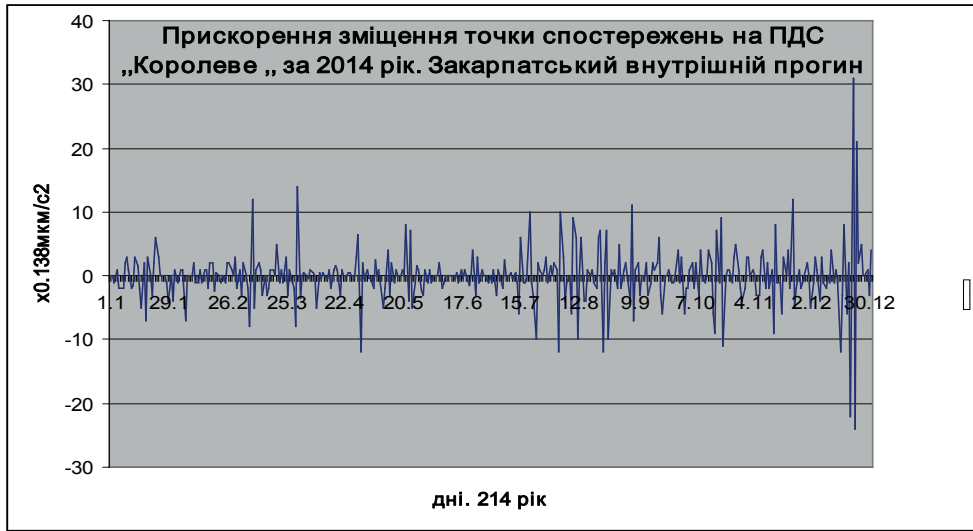
б)

рис. 4. а). Кінематичні характеристики рухів земної поверхні за 2014 рік:
добова швидкість зміщень поверхні земної кори (суцільна лінія) на ПДС «Королеве»;
б). Швидкість рухів земної кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2014 рік
(суцільна лінія) та сейсмічні події в Закарпатському внутрішньому прогині
(діаграма червоного кольору).

Перша половина року характеризується від'ємними швидкостями рухів. Починаючи з серпня, рухи мають додатні швидкості, що відображають процес розширення породи в зоні Оашського глибинного розлому. 15.11.2014 року відбулися відчутні місцеві землетруси. Вони могли бути складовою частиною підготовки землетрусу 22.11.2014 року в Румунії. Рухи в перпендикулярному напрямку до простирання Карпат відбуваються як розширення за даними деформографічної станції «Берегове-2». Головними рухами є вертикальні рухи. За даними деформографічних та геодезичних вимірів модель рухів у Закарпатському внутрішньому прогині: з початку року проходить стиснення, після розширення порід відміченому в 2013 році. Потім проходить розширення порід за рахунок вертикальних додатніх рухів (підняття). Сумарні вікові рухи за 2014 рік рівні «0». Рухи з такими параметрами характеризують знакозмінні процеси, а ті в свою чергу відмічаються як періоди підвищеної сейсмічності, реєструються відчутні місцеві землетруси. Проведено дослідження на предмет виявлення зв'язку із сейсмічністю регіону кінематичних характеристик деформаційних процесів, зокрема швидкості добових рухів. Попередні дослідження вказували на існування такого зв'язку. Особливості сучасних рухів в 2014 році: землетруси в регіоні проходять в періоди розширення породи земної кори. Наявність періодів стиснення(локальних) може слугувати індикатором розрядки напружено-деформованого стану порід. Для вивчення зв'язків геодинамічних процесів та сейсмотектонічної активності проведено вимірювання середньомісячних швидкостей та частоти повторюваності місцевих землетрусів (рисунок 5 а, б).



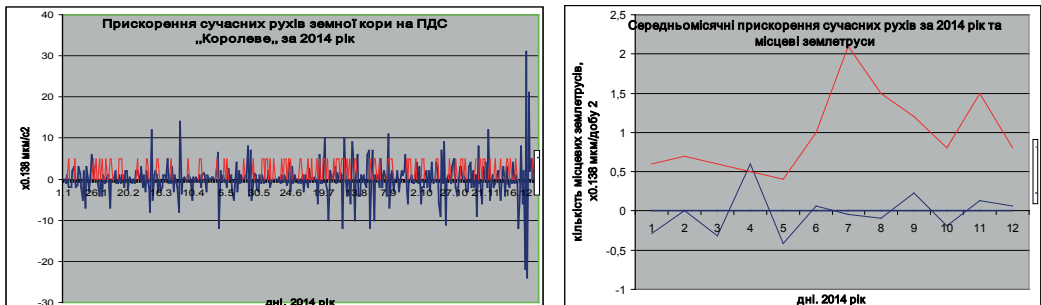
а)



б)

рис. 5. а). Середньомісячні величини добових швидкостей сучасних рухів за 2014 рік (діаграма синього кольору) та сейсмічність регіону (діаграма червоного кольору); б). Прискорення деформаційних процесів в зоні Оаишського глибинного розлому за 2014 рік (діаграма синього кольору).

Лінія тренду швидкостей та лінія тренду частоти повторюваності місцевих землетрусів корелюють між собою. Важливим є прискорення рухів земної кори: відмічено збільшення величини прискорення перед відчутними місцевими землетрусами, осередок підготовки яких знаходився в межах Закарпатського внутрішнього прогину. Найбільш динамічними є періоди з другої половини 2014 року, коли було зареєстровано серію відчутних землетрусів біля кордону з Румунією (рисунок 6 а, б).



а)

б)

рис. 6. а). Прискорення сучасних рухів на ПДС «Королеве» за 2014 рік (лінія синього кольору) та місцева сейсмічна активність (діаграма червоного кольору); б). Середньомісячні величини прискорення на ПДС «Королеве» (крива синього кольору) та частота реєстрації місцевих землетрусів (крива червоного кольору).

Характер зв'язків місцевої сейсмічності із кінематичними характеристиками за 2014 рік приводить до висновку про джерело сейсмічної активності, яке знаходиться за межами геологічних структур, зокрема район Вранча. Якщо тектонічні процеси проходять на території Закарпатського внутрішнього прогину, варіації прискорення відмічені за тиждень - два перед відчутними землетрусами. В нашому випадку аномалії проходять в період реєстрації землетрусу, тобто підготовка землетрусу проходить на інших геологічних структурах Карпато-Балканського регіону, де сейсмотектонічні рухи спричиняють вплив на суміжні геоструктури. Після підвищених значень прискорення настає період реєстрації землетрусів. Розглянуто варіацію місячних середніх прискорень та частоту реєстрації місцевих землетрусів. Наведений графік унаочнює структуру підготовки місцевих землетрусів, як видно періоду активності середовища 7-8 місяці передую динамічна активність середовища за 3-4 місяці.

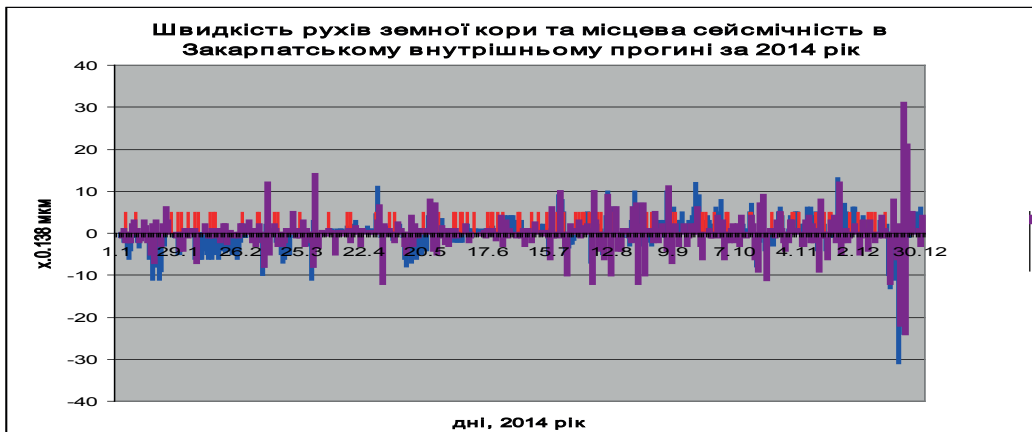


Рис.7. Швидкість (діаграма синього кольору), прискорення (діаграма фіолетового кольору) та кількість землетрусів (діаграма червоного кольору) за 2014 рік в Закарпатському внутрішньому прогині;

Екстремальні точки кривих швидкості та прискорення супроводжуються місцевими землетрусами. Збільшення періоду спостережень деформографічних станцій приводить до підвищення точності спостережень. На ПДС «Королеве» безперервні спостереження проводяться починаючи з 1999 року. Результатом дослідження було виявлення періодичності у вікових рухах тривалістю в 10-12 років. Починаючи із 1999 року переважаючими рухами були розширення порід, хоча за всіма іншими методами спостережень в Закарпатському внутрішньому прогині переважають процеси стиснення порід. Особливість динаміки Оашського розлому полягає в тому, що тут проходить нульова лінія вертикальних

рухів. Тому припускають, що розширення проходило за рахунок опускання площі поверхні центральної частини Оашського розлому. В 2012 році за результатами деформографічних спостережень було відмічено стиснення порід, що могло бути початком знакозмінного процесу. Знакозмінний характер сучасних рухів характерний підвищеною сейсмічністю. Попередні роки проявлялися через поодинокі відчутні землетруси в Закарпатському внутрішньому прогині, в середньому 1-2 на рік, на фоні десятків слабких місцевих землетрусів. В 2013 році піврічний інтервал стиснення порід був замінений періодом розширення порід, в загальному із величиною 10×10^{-7} . Ця величина характерна для подібних рухів в Карпато-Балканському регіоні, в 2014 році сейсмічні процеси у Виноградівському районі активізувалися, спочатку було зареєстровано слабенькі землетруси в різних частинах Виноградівського району, які завершилися більш потужними та відчутними підземними поштовхами.

Деформації мають періодичний характер, ми відмічаємо період пониження швидкостей рухів тривалістю більше 2 років. Після цього періоду на протязі двох з половиною років спостерігалось підвищення сейсмічної активності в Закарпатському внутрішньому прогині. Аналіз результатів обробки кінематичних та динамічних характеристик показав, що прискорення рухів земної кори передувало в інтервалі двох тижнів місцевим землетрусам. Особливість сучасної сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину полягають в тому, що вони можуть бути результатом сейсмічної активності району Вранча Карпато-Балканського регіону.

2015 рік. Станом на 01.12.2015 року загальне зміщення та деформація порід в зоні Оашського глибинного розлому Закарпатського внутрішнього прогину становили: $+20.7 \text{ мкм}$, 844.5 нстр (8.44×10^{-7}). Проведено аналіз вікового ходу у річному вікні, який підтвердив подібність сучасних рухів земної кори на протязі року. Побудовано графік часового розподілу горизонтальних рухів в зоні Оашського розлому за 2015 рік (рисунок 8).

Характер горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому за 2015 рік – розширення порід. Вертикальні червоні лінії відмічають час реєстрації місцевих землетрусів. Виділено час реєстрації відчутних землетрусів 19-28 липня 2015 року в Тячівському районі (рисунок 8).

Більшість землетрусів відбулося при розширенні порід. Загальний характер руху земної кори є розширення із величиною $+30.22 \text{ мкм}$. Величина деформації становить: $+12.32 \times 10^{-7}$ ($+1232 \text{ нстр.}$) Середньорічна величина деформації становить $+11 \times 10^{-7}$ (1999-2015). Розширення порід

супроводжується сейсмічною активізацією. Розраховано сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2015 рік в місячних діапазонах (рисунок 10 а). Підвищена сейсмічність відмічена на початку року (січень-лютий 2015 р.) і в другій половині року, починаючи з 19.07.2015 року серією землетрусів в Тячівському районі, 6 із них населення відчувало, відмічені незначні руйнування споруд (рисунок 10 б).

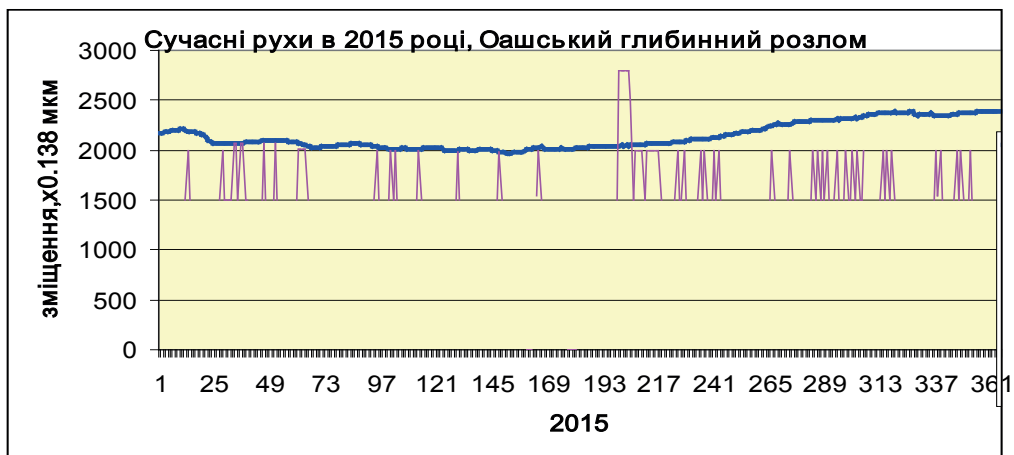


Рис. 8. Зміщення (крива синього кольору) та сейсмічність регіону (діаграма червоного кольору) за 2015 рік.

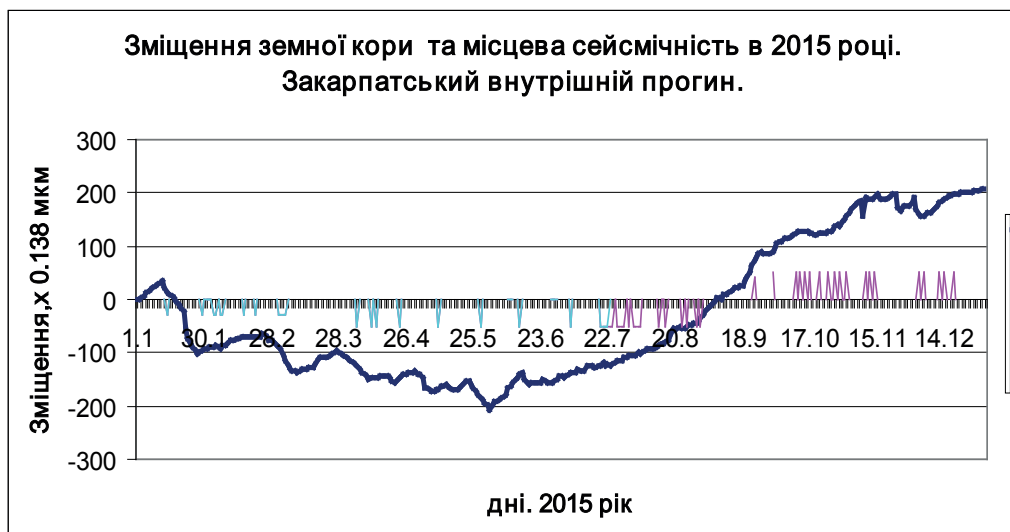
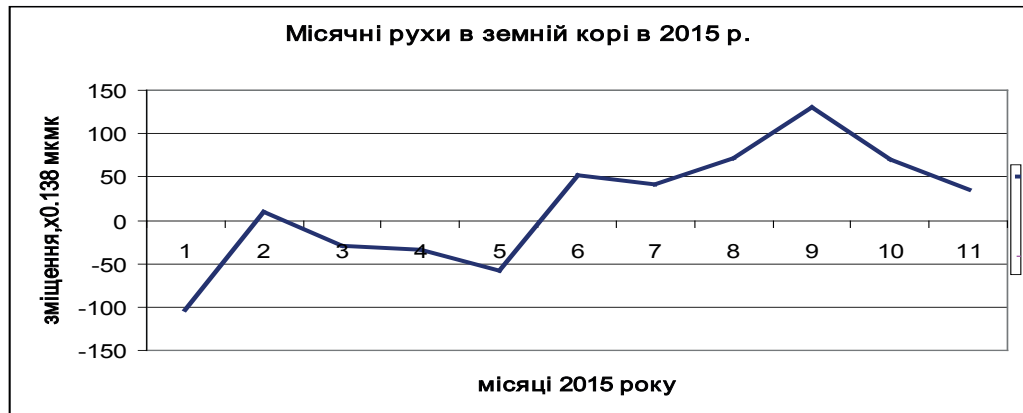
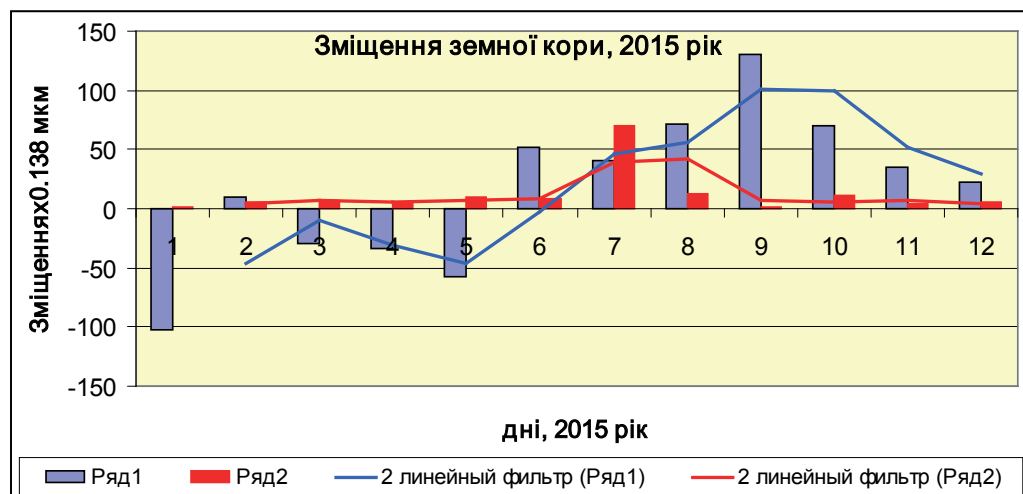


Рис. 9. Сучасні рухи земної кори (крива синього кольору) та місцева сейсмічність діаграма червоного кольору) за 2015 рік. Закарпатський внутрішній прогин.



а)



б)

Рис. 10. а). Місячні рухи земної кори в зоні Оаиського глибинного розлому в 2015 році;
 б). Сейсмічність (діаграма червоного кольору) та геодинаміка регіону (діаграма синього кольору), середньомісячні величини в 2015 році в Закарпатському внутрішньому прогині.

Проведено визначення добових швидкостей сучасних горизонтальних рухів кожного місяця, за цілий рік. Сейсмічність активізується під час додатних швидкостях – при розширенні порід (рисунок 11).

Періодам підвищеної сейсмічності передують періоди аномальних рухів земної кори та підвищених значень швидкостей (рисунок 12).

Проведено вимірювання градієнтів швидкостей сучасних рухів в регіоні за 2015 рік та часовий розподіл місцевої сейсмічності за цей період (рисунок 13).

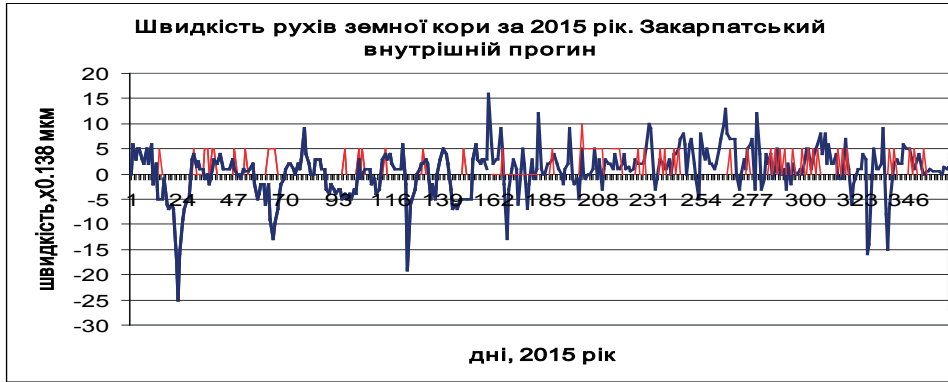


Рис. 11. Швидкість сучасних рухів (крива синього кольору) та місцева сейсмічність (діаграма червоного кольору) в Закарпатському внутрішньому прогині за 2015 рік.

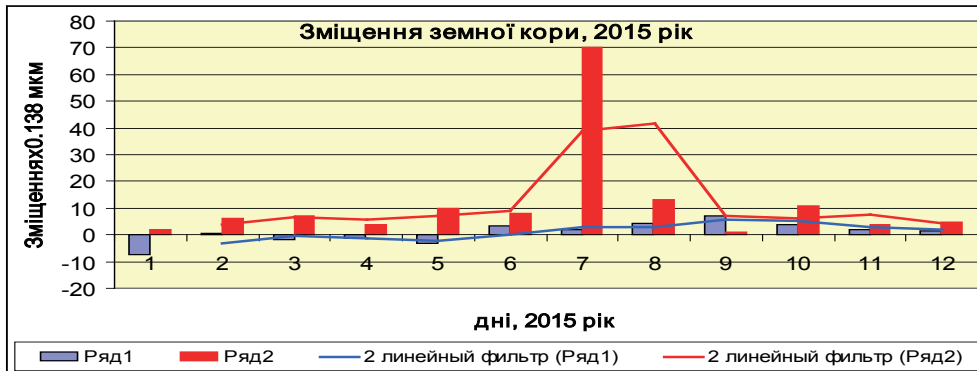


Рис. 12. Середньомісячні величини зміщень земної кори (діаграма синього кольору), місцева сейсмічність (діаграма червоного кольору) в 2015 році.

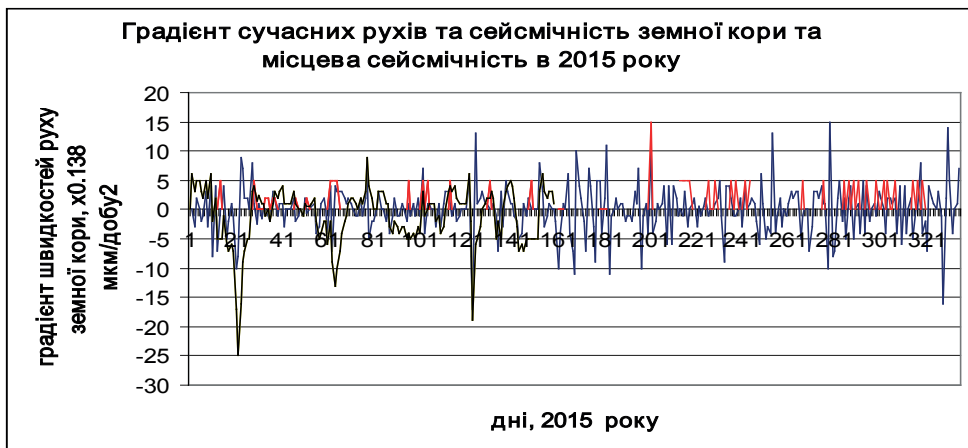


Рис.13. Кінематичні характеристики сучасних рухів земної кори (крива синього кольору) та місцева сейсмічність (діаграма червоного кольору) за 2015 рік.

Відмічено кореляцію часу реєстрації місцевих землетрусів та періодів підвищених величин кінематичних параметрів сучасних горизонтальних рухів в Закарпатському внутрішньому прогині (рисунок 14).

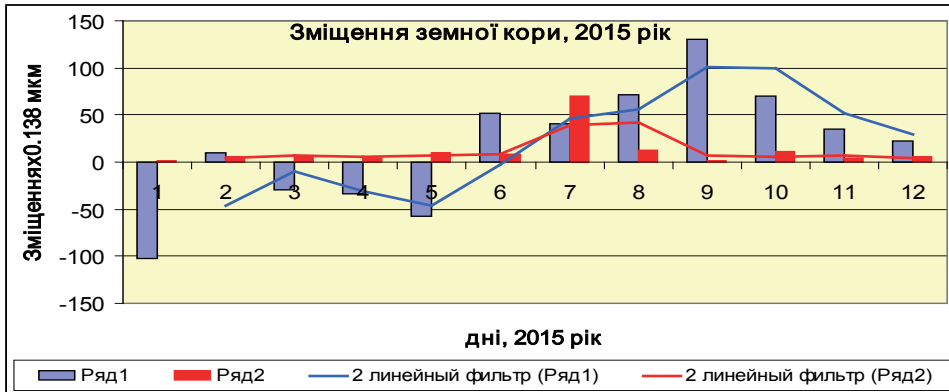


Рис. 14. Швидкість рухів (діаграма синього кольору) та сейсмічність (діаграма синього кольору) в 2015 році. Результати місячних спостережень.

Відмічено максимум сейсмічності, що припадає на 7 місяць, а максимум швидкостей горизонтальних рухів досягається в березні та вересні.

2016 рік. Станом на 31 грудня 2016 року річне зміщення становить +9.798 мкм, деформація: +399,73 нстр ($+4 \times 10^{-7}$). Горизонтальні рухи в регіоні носять усадкований характер – є періодичними, в напрямку схід-захід відбувається розширення порід, але з пониженою швидкістю. Проходить процес заміни знаку сучасних рухів: розширення порід на стиснення. Сейсмічність пов'язана із швидкістю сучасних рухів земної кори в регіоні. В 2016 році, коли не було жодного відчутного місцевого: швидкість сучасних рухів становила 4×10^{-7} . Розглянуто сучасні рухи за 2016 рік (рисунок 15).

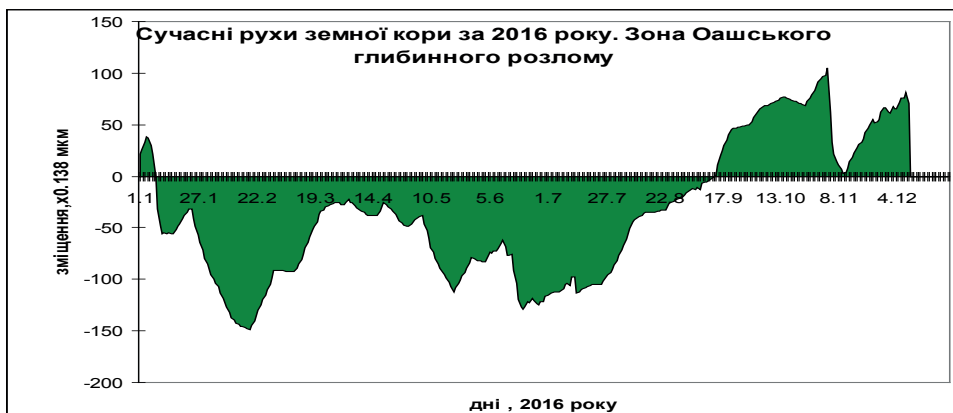


Рис. 15. Сучасні рухи земної кори на ПДС «Королево» за 2016 рік, результати добових спостережень. Зона Оашського глибинного розлому.

Величина вікового ходу має зв'язок із пониженням енергетики сейсмічних подій: відсутність відчутних місцевих землетрусів за 2016 рік на території Закарпатського внутрішнього прогину. Розглянуто часовий розподіл місцевої сейсмічності за 2016 рік в інтервалі місяця та характеристики сучасних рухів на предмет виявлення зв'язку із рухами земної кори в регіоні (рисунок 16).

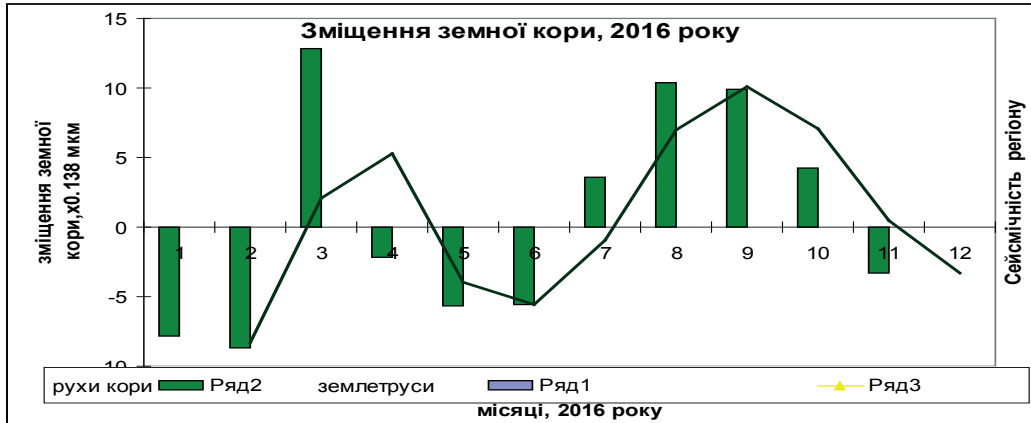


Рис. 16. Зміщення земної кори в місячному діапазоні за 2016 рік.
Зона Оаиського глибинного розлому.

Відмічено 2 максимуми з періодом 6 місяців. На фоні розширення порід сейсмічність активізується (рисунок 17).

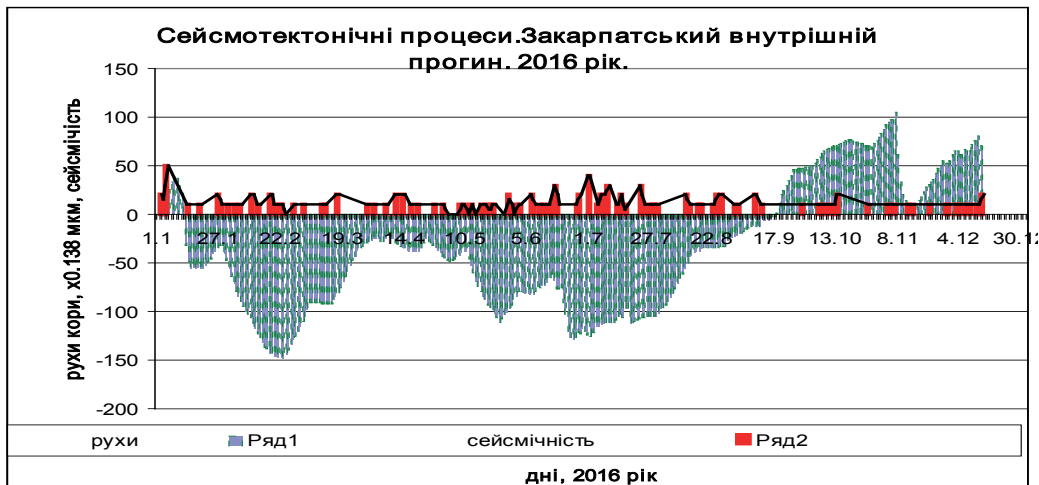


Рис. 17. Сейсмотектонічні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині в 2016 році
(рухи кори – крива зеленого кольору; сейсмічність – діаграма червоного кольору).

Сейсмічність в 2016 році - не відмічено жодного відчутного землетрусу. Аналізуючи криві сучасних рухів та сейсмічну активність регіону в 2016 році відмічено: існує кореляція цих процесів, максимуми сейсмічної активності

знаходяться в інтервалі критичних точок сучасних рухів. Стиснення порід та перехід в розширення – період підвищення сейсмічності регіону. Оскільки сейсмічність Закарпаття та сейсмічність Вранча зв'язані то важливим аспектом дослідження є вивчення сейсмічності інших регіонів Карпат. Використання методу дослідження кінематичних характеристик сучасних рухів та параметрів геофізичних полів на території Карпатського геодинамічного полігону привів до важливих висновків про кореляцію варіацій параметрів сучасних горизонтальних рухів із сейсмічною активністю за період з 1999 року по 2016 рік. Досліджували зміну швидкостей та прискорень сучасних горизонтальних рухів та прояви місцевої сейсмічності. Було виявлено підвищені значення швидкостей та прискорень рухів за декілька днів до відчутних місцевих землетрусів в регіоні. Варіація періодів перед відчутними землетрусами змінюється від віддалі до епіцентру землетрусу, сили землетрусу, глибини землетрусу.

Досліджено зміну швидкості сучасних рухів та її зв'язок із сейсмічними процесами в зоні Оашького глибинного розлому Закарпатського внутрішнього прогину за 2016 рік (рисунок 18).

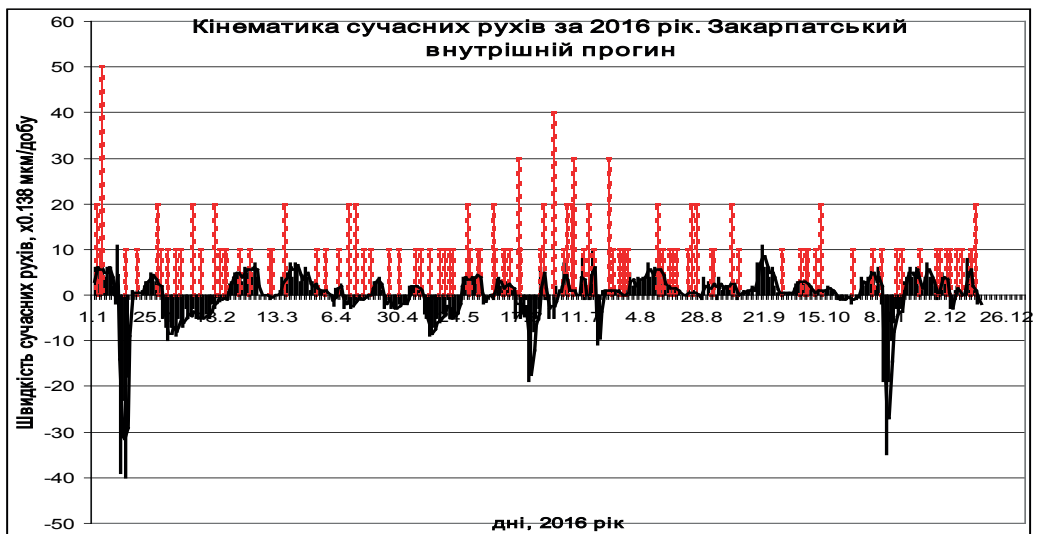


Рис. 18. Швидкість зміщення земної кори в зоні Оашького глибинного розлому та місцева сейсмічність: _____ рухи кори, швидкість; -----місцеві землетруси, дата їх реєстрації.

Швидкість рухів земної кори зв'язана із розрядкою напружено-деформованого стану порід за 2016 рік. Землетруси зареєстровано в періоди підвищення швидкостей сучасних рухів земної кори, що підтверджує багаторічні дослідження в регіоні. Проведено аналіз зв'язку прискорення сучасних горизонтальних рухів та сейсмічності за 2016 рік (рисунок 19).

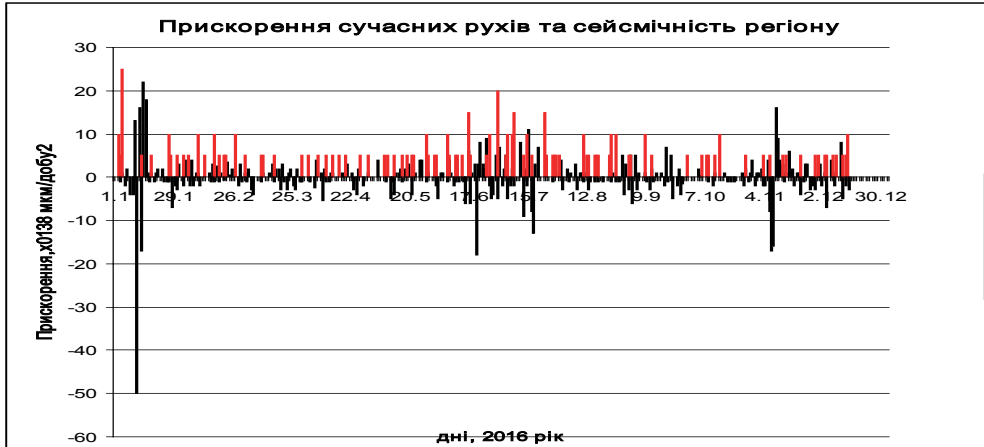


Рис. 19. Прискорення горизонтальних рухів та місцева сейсмічність в Закарпатському внутрішньому прогині за 2016 рік; -----прискорення рухів; ----місцева сейсмічність.

За 2016 рік зареєстровано на території Закарпатського внутрішнього прогину не зареєстровано відчутних місцевих землетрусів. Аналізуючи результати спостережень необхідно відмітити, що сейсмічна активність регіону приурочена до періодів, характерних підвищеними величинами кінематичних характеристик гірських порід Закарпатського внутрішнього прогину, зокрема зони Оашського глибинного розлому. Проведено вивчення залежності від часу місцевої сейсмічності та середньодобових значень прискорень горизонтальних рухів в місячних інтервалах спостережень (рисуюнок 20).

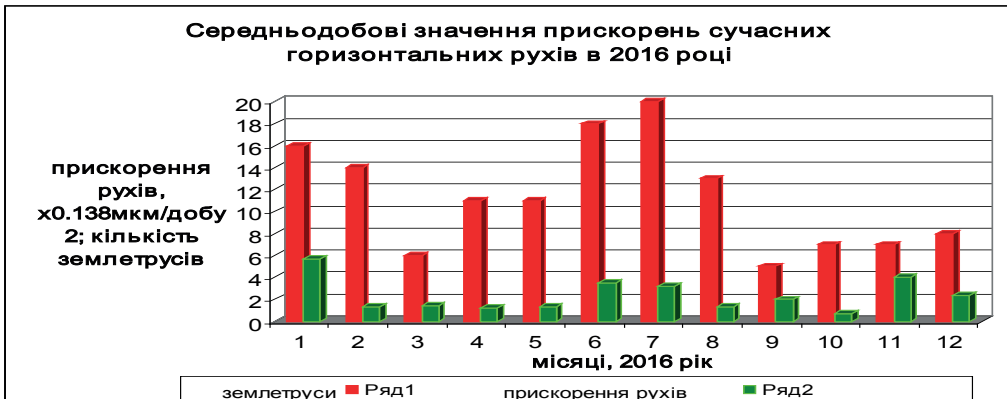


Рис. 20. Прискорення сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому та місцева сейсмічність, місячні результати: ----сейсмічність; -----прискорення рухів. 2016 рік.

Відмічено кореляцію спостережуваних рядів. Середньорічна величина прискорення становить 2.34 мкм/добу^2 .

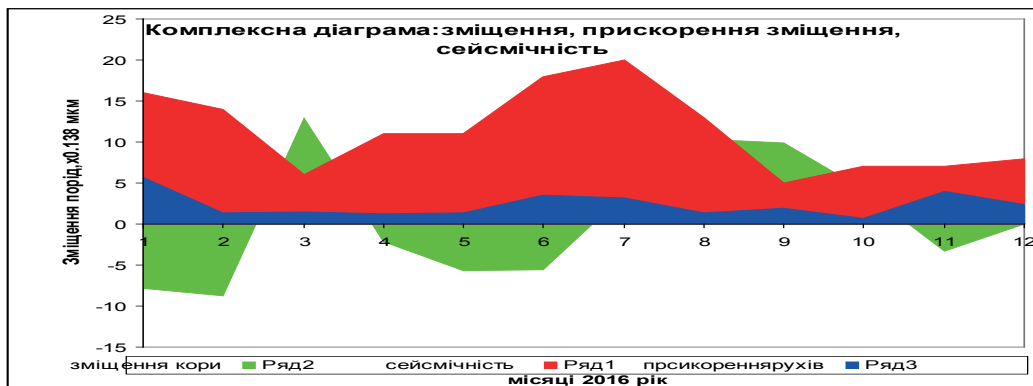


Рис. 21. Комплексна діаграма: зміщення порід, прискорення зміщення та місцева сейсмічність в Закарпатському внутрішньому прогині в 2016 році: _____ зміщення кори; _____ сейсмічність; _____ прискорення зміщення.

Прискорення зміщення гірських порід в регіоні корелюється із кривою сейсмічності за 2016 рік. Максимуми середньомісячних величин прискорення зміщення земної кори знаходяться в інтервалі часу підвищеної сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину або передують йому на один місяць наперед. Отримані на протязі близько 30-и років деформографічних спостережень в Закарпатті результати важливі для побудови картини рухів кори, впливу на них факторів – завад, та розрядки напружено-деформованого стану (рисунок 22).

З урахуванням рухів за 2016 рік середньорічні рухи кори в регіоні становлять $+10 \times 10^{-7}$. Ця величина відповідає рухам поверхні земної кори Карпатському регіоні та Європі ($-10 : +30 \times 10^{-7}$). Рухи в регіоні носять усадкований характер. Вікові ходи деформацій в зоні Оашського глибинного розлому період спостереження 1999-2016 року (рисунок 22).



Рисунок 22. Вікові ходи на ПДС «Королево» за 1999-2016 рік (крива чорного кольору). Прискорення вікових ходів (крива сірого кольору).

Загальний характер горизонтальних рухів на ПДС «Королево» за 2016 рік – розширення порід. З урахуванням рухів за 2016 рік середньорічні рухи кори в регіоні становлять $+10 \times 10^{-7}$. Ця величина відповідає рухам поверхні земної кори Карпатському регіоні та Європі ($-10 : +30 \times 10^{-7}$). Рухи в регіоні носять успадкований характер.

Геодинамічний стан в Закарпатському внутрішньому прогині за 1999–2016 рр. Результати деформометричних спостережень в 2016 році доповнюють висновки, отримані в попередні спостереження важливі для отримання загальної картини геомеханічних процесів в регіоні (рисунок 23 а, б).

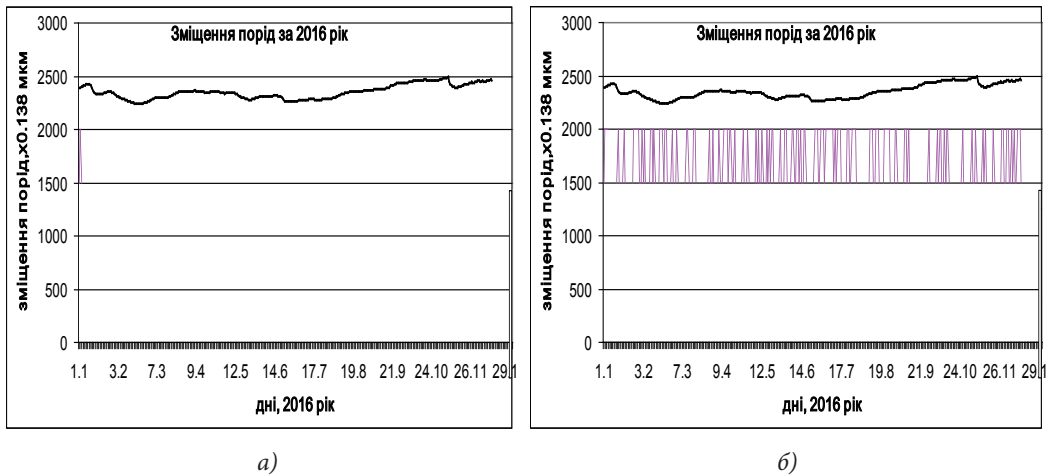


Рис. 23. а). Зміщення порід на ПДС «Королево» за 2016 рік; б). Зміщення порід на ПДС «Королево» (крива чорного кольору) та місцева сейсмічність Закарпатського внутрішнього прогину за 2016 рік (вертикальні червоні лінії – місцеві землетруси, час їх реєстрації).

Сейсмічність активізується при локальних мінімумах сучасних рухів земної кори виміряних на пункті деформометричних спостережень «Королево».

2017 рік. Проведено обчислення вікового ходу деформаційних процесів в досліджуваному регіоні. Побудовано графіки залежностей зміщень точок спостережень по місяцям та порівняно із часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2017 рік. За 2017 рік сучасні горизонтальні рухи земної кори в зоні Оашського розлому представляють собою стиснення порід, величиною -36.4 мкм, деформацію гірських порід величиною -1486 нстр (-14.86×10^{-7}) (рисунок 25).

Аналіз залежностей вказав на періодичність сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому в 2017 році: відмічено 2 локальні мінімуми та 2 максимуми зміщень земної кори з періодом біля 4 місяців. Проведено дослідження зв'язків сейсмічності та динаміки сучасних рухів (рисунок 26).



Рис. 25. Сучасні горизонтальні рухи земної кори в зоні Оашського глибинного розлому в 2017 році. Зміщення порід.



Рис. 26. Зміщення земної кори в зоні Оашського глибинного розлому. 2017 рік.

Переважаючими рухами є стиснення порід. Інтенсивні рухи спостерігаються на початку року та в середині року.

Розглянуто сучасні горизонтальні рухи в зоні Оашського глибинного розлому за період 1999 року по 2017 рік за результатами деформометричних досліджень на ПДС „Королево”, Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України (рисунк 27).

За рахунок рухів земної кори в 2017 році середньорічний віковий хід зменшується, що супроводжується підвищенням сейсмічної активності регіону, виражену серіями відчутних місцевих землетрусів. Відмічено інтервали понижених або від’ємних швидкостей горизонтальних рухів в регіоні. Періоди знакозмінних процесів супроводжується серією місцевих землетрусів. Загальний характер сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому Закарпатського внутрішнього прогину є розширення порід.

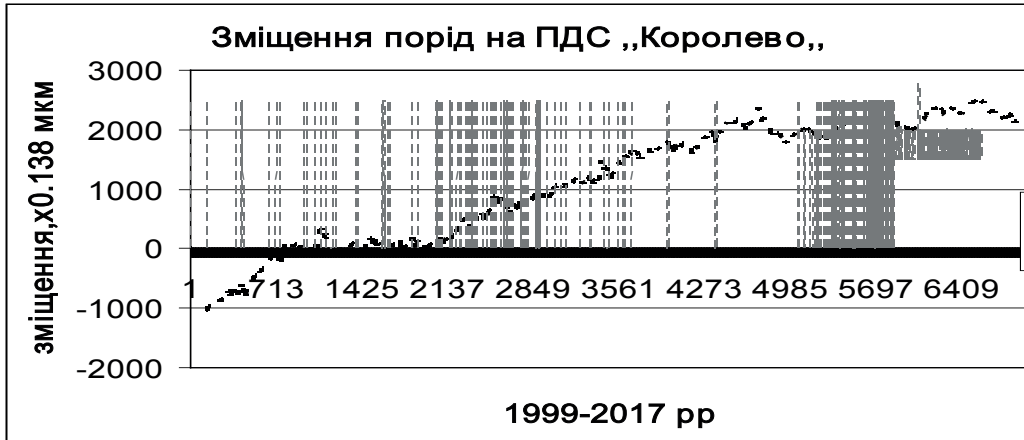


Рис. 27. Зміщення порід (крива чорного кольору) та сейсмічність Закарпатського внутрішнього прогину (діаграма сірого кольору) за період 1999-2017 рр.

Висновки.

1. Сеймотектонічні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині мають періодичний характер.
2. Характер сучасних рухів за весь період спостережень є розширення порід з величиною $+10 \times 10^{-7}$. Величини вікових ходів в Закарпатті знаходяться в інтервалі $10-30 \times 10^{-7}$.
3. Вікові ходи за період спостережень з 2014 року по 2018 рік мають періодичний характер.
4. На сеймотектонічний процес в регіоні суттєвий вплив чинять параметри гідрогеологічного стану.
5. Вирішальний фактор впливу належить атмосферним опадам, оскільки вони мають більш глобальний характер дії на поверхню земної кори в регіоні.
6. На сейсмічний стан регіону метеорологічні параметри суттєвого впливу не чинять.
7. Варіації геодинамічних параметрів супроводжуються варіаціями вимірюваних фізичних параметрів досліджуваних геофізичних полів, підтверджується багаторічними спостереженнями..
8. Виявлені параметри динамічного характеру в деформаційних процесах в регіоні, які мають аномалії в інтервалах проявлення сейсмічності і які можна використати як достовірні характеристики геофізичних процесів земної поверхні в зоні можливих місцевих землетрусів.
9. Відмічено нульові деформації за 2014 рік.
10. Розраховано загальну деформацію за 2015 рік-розширення порід, яка становить $+12 \times 10^{-7}$.

11. Сейсмічність регіону підвищена. Відмічено 6 відчутних місцевих землетрусів в липні 2015 року.

12. Рухи земної кори є спусковим механізмом перерозподілу механічної енергії під час складних геологічних процесів. Землетруси Карпатського регіону є результатом глобальної тектоніки плит.

13. Рухи земної кори в Закарпатському внутрішньому прогині мають успадкований характер і є частиною рухів спостережуваних в інших регіонах Європи. Напрямки максимальних рухів в регіоні співпадають з напрямками, визначеними в Західній Європі: із північного заходу на південний схід (максимальне поле напружень), та із південного заходу на північний схід (мінімальне поле напружень).

14. Спостереження деформацій земної кори виявили та підтвердили наявність аномалій параметрів деформаційних процесів перед місцевими землетрусами, зокрема зміщень точки спостережень та динамічних характеристик геологічних процесів в регіоні.

15. В 2015 році швидкість сучасних горизонтальних рухів становила $+12 \times 10^{-7}$, було зареєстровано серію відчутних місцевих землетрусів, на відміну 2016 року, коли не було жодного відчутного місцевого: швидкість сучасних рухів становила 4×10^{-7} . Аналізуючи криві сучасних рухів та сейсмічну активність регіону в 2016 році відмічено: існує кореляція цих процесів, максимумами сейсмічної активності знаходяться в інтервалі критичних точок сучасних рухів. Стиснення порід та перехід в розширення – період підвищення сейсмічності регіону.

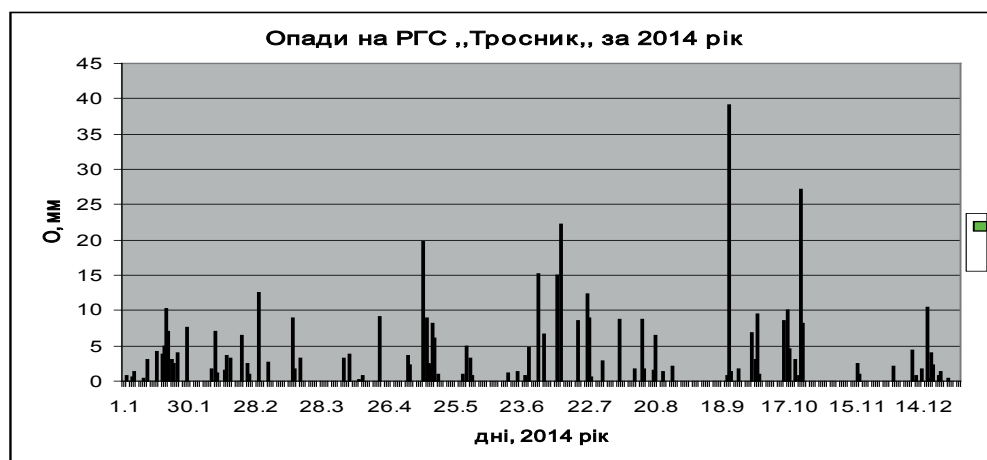
16. Прискорення зміщення гірських порід в регіоні корелюється із кривою сейсмічності за 2016 рік. Максимуми середньомісячних величин прискорення зміщення земної кори знаходяться в інтервалі часу підвищеної сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину або передують йому на один місяць наперед.

17. Геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину за спостережуваний період характерний стисненням порід величиною -14.78×10^{-7} . Варіації рівня води в свердловинах є індикатором напружено-деформованого стану порід, пропонується використовувати результати спостережень для вивчення геологічних процесів, їх періодичностей, оскільки свердловин в регіоні є набагато більше за спеціально обладнаних підземних лабораторій необхідних для функціонування деформометричних станцій.

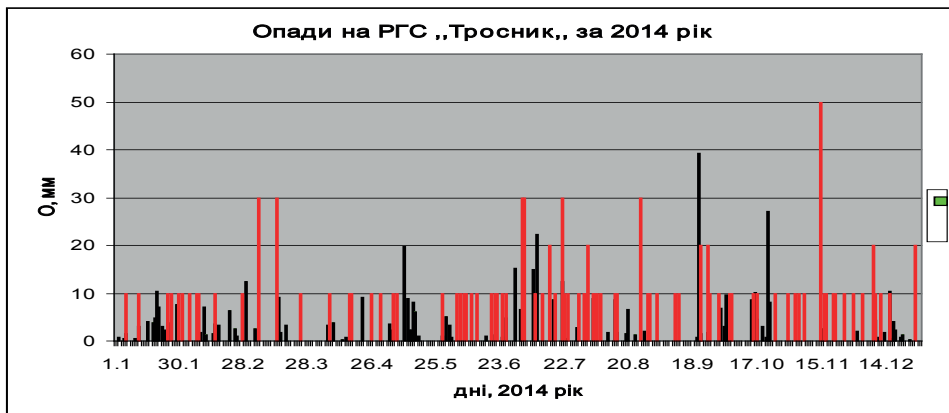
Гідрогеологічні спостереження на РГС «Тросник». Атмосферні опади в регіоні. На території Закарпаття регулярно проводяться метеорологічні спостереження як на метеорологічних станціях

обласного гідрометео центру, галузових метеорологічних станціях так і режимних геофізичних станціях, сейсмічних станціях та пунктах деформометричних спостережень. Ці результати необхідні при геофізичних дослідженнях в регіоні. Метеорологічні спостереження проводяться на всіх пунктах та станціях Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Тут змонтовано метеорологічні пункти спостережень із використанням метеорологічних станцій: KONRAD, M-44. Також тут проводяться вимірювання рівня води в свердловинах глибинами 8 м та 530м, регулярно вимірюється рівень води в річці Тисі біля РГС «Тросник». Актуальність таких досліджень очевидна, оскільки відмічено гідрогеологічний аспект сучасних сейсмотектонічних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині, починаючи з 2011 року коли вперше було виявлено цей аспект. Кількість атмосферних опадів вимірюється за допомогою опадоміра Третьякова та елементом автоматичної цифрової метеорологічної станції «Конрад». Вимірювання проводяться щодоби декілька разів у визначений час, аналіз та дослідження проводяться із використанням місячних та річних величин, порівнюються дані рухів кори та місцевої сейсмічності.

2014 рік. Кількість опадів за 2014 рік становить **482,2 мм**, що є відповідно більше за половину річного водного балансу на Закарпатті. Інтенсивність опадів змінна: початок першої та другою половини року характерні більшою кількістю опадів в порівнянні з іншими періодами (рисунк 28 а, б).



a)



б)

рис. 28. а). Атмосферні опади на РГС «Тросник» за 2014 рік;
б). Атмосферні опади (діаграма чорного кольору) та місцева сейсмічність регіону за 2014 рік (діаграма червоного кольору).

Розглянуто зв'язок сейсмічної активності та кількості опадів за 2014 рік. Аналіз зв'язку рядів спостережуваних величин показав на кореляцію опадів та активізації сейсмічної активності в 2014 році в Закарпатському внутрішньому прогині. Активізація місцевої сейсмічності проходить після періодів реєстрації підвищеної кількості опадів.

2015 рік. Сейсмічність зв'язана із опадами в регіоні, після періодів опадів відбуваються землетруси. Кількість опадів, що випала в 2015 році в Виноградівському районі становить 432.4 мм, що становить 50% річного балансу опадів в Закарпатті. Така низька водність порушує геомеханічну рівновагу та сприяє підвищенню місцевої сейсмічності (рисуюнок 29).

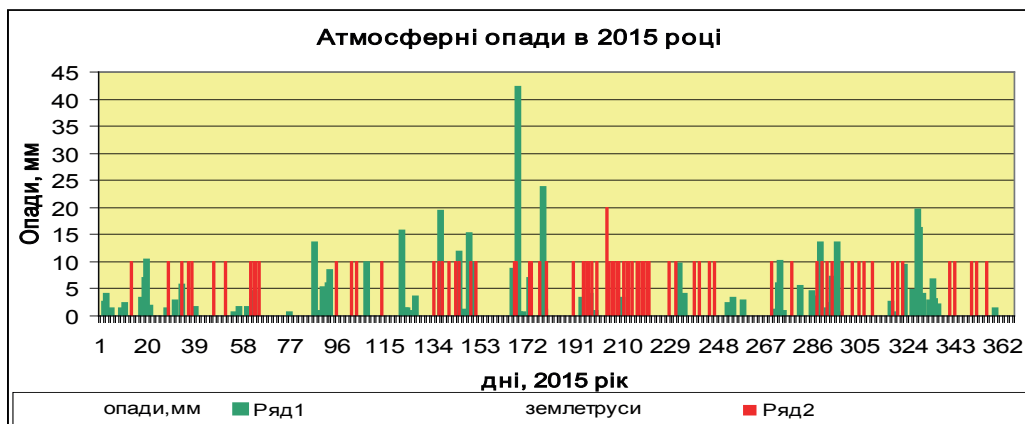


Рис. 29. Атмосферні опади (діаграма зеленого кольору) та місцева сейсмічність в регіоні в 2015 році (діаграма червоного кольору).

2016 рік. Розглянуто варіації спостережуваних гідрологічних та геомеханічних параметрів за весь рік, кількість атмосферних опадів на РГС «Тросник» становить 650 мм.

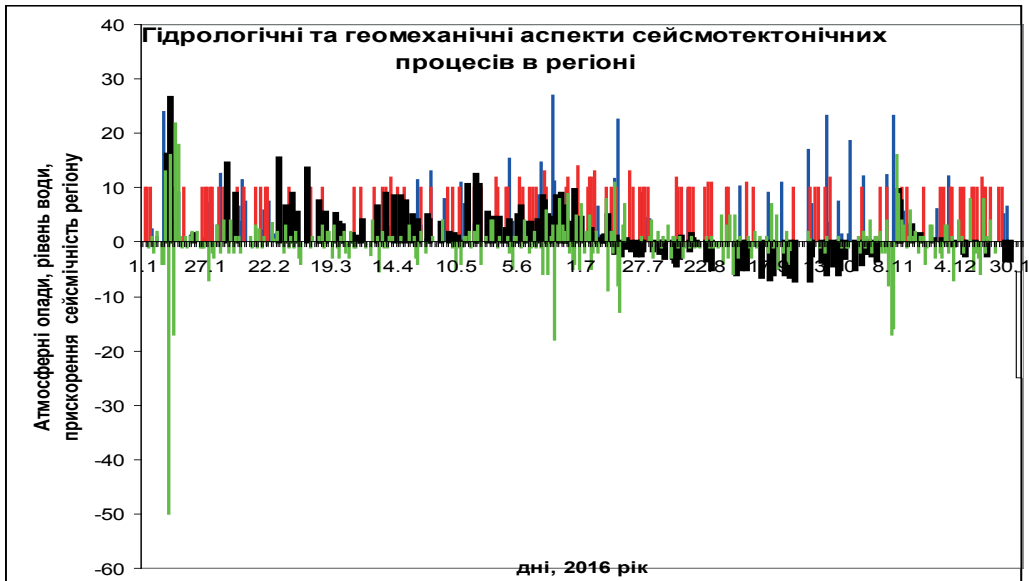


Рисунок 30. Атмосферні опади (діаграма синього кольору), рівень води в річці (діаграма чорного кольору), прискорення рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому (діаграма зеленого кольору), сейсмічність (діаграма червоного кольору).

Як видно із комплексного графіку сейсмічність в регіоні проявляється в періоди після атмосферних опадів, підвищення рівня води в річці Тисі, яке супроводжується інтенсивними горизонтальними рухами в зоні Оашського глибинного розлому, що виражено коливаннями кінематичних характеристик поверхневих рухів. Частота прояву місцевої сейсмічності підвищується в період спаду рівня води в річці Тисі (літній період). Цей факт підтверджує гідрологічний характер геодинамічного стану регіону, зв'язок коливань рівня води в річках із порушенням геомеханічної рівноваги та прояв місцевої сейсмічності.

2017 рік. За 2017 рік на теренах Виноградівського району випало 666 мм атмосферних опадів. Атмосферні опади викликали підняття рівня води в свердловинах та річці Тисі (рисунок 31).

Атмосферні опади викликають підняття рівня води в річках Закарпаття, зокрема в річці Тисі, в яку вливаються більшість річок Закарпаття. Сейсмічність регіону підвищена після періодів різких варіацій параметрів геодинамічного стану, викликаних зміною гідрологічного стану місцевості.

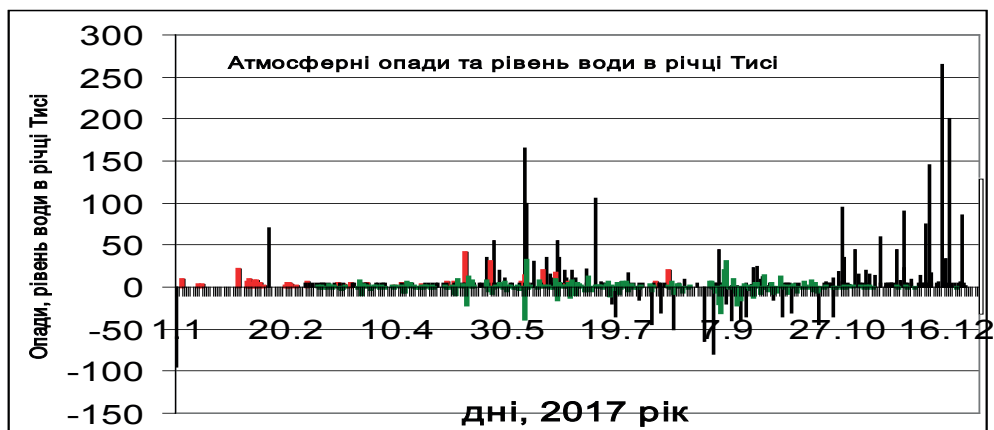


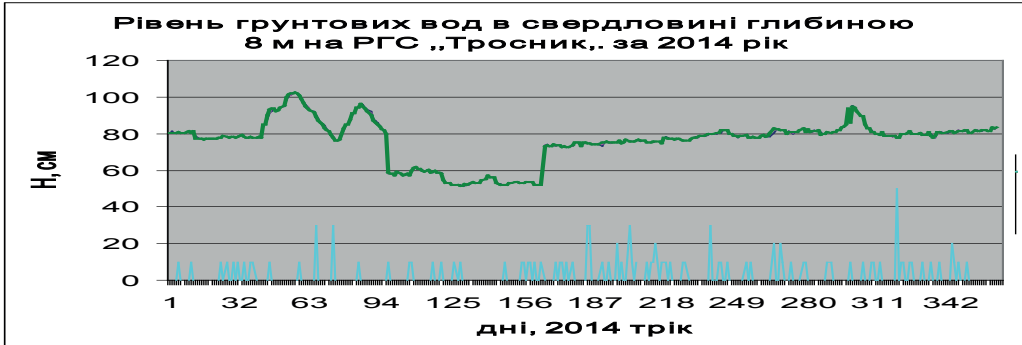
Рисунок 31. Атмосферні опади (крива червоного кольору), прискорення (лінія зеленого кольору) рухів та рівень води в річці Тисі (суцільна лінія чорного кольору) та їх вплив на сейсмічність в регіоні в 2017 році.

Рівень води в свердловинах на РГС «Тросник». Результати отримані в попередні роки виявили високу ступінь кореляції варіацій рівня води в свердловинах із сучасними горизонтальними рухами кори, що відкриває можливість застосування даних спостережень при вивченні рухів кори без використання складних деформометричних приладів, що є також громіздкими.

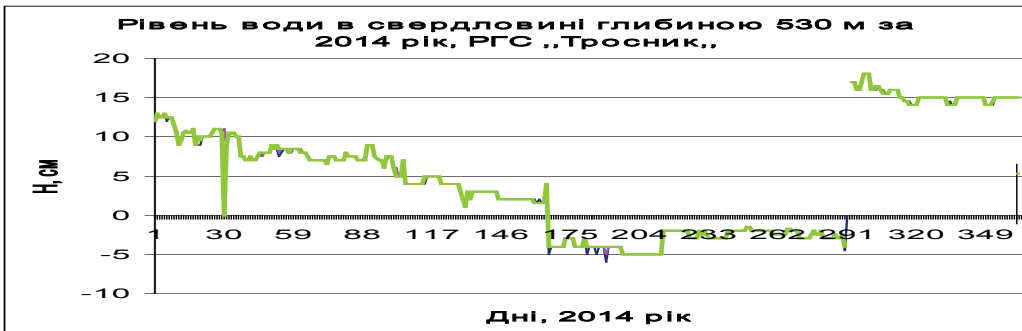
2014 рік. Активізація сейсмічності відбувається при стисненні порід та підняттю рівня води в свердловинах глибиною 8 м та глибиною 530 м розміщених на РГС "Тросник". Сейсмічність регіону підвищується після динамічних змін рівня води в свердловині глибиною 8 м. Розширення порід є головною тенденцією сучасних рухів в регіоні. Землетруси протікають після проходження мінімуму в 2014 року. Вода в свердловині піднімається – породи зазнають стискування. Загальна тенденція рівня води в свердловині глибиною 8 м – стиснення порід. В глибокій свердловині – відбувається розширення порід за 2014 рік. Перед відчутними місцевими землетрусами відмічено різке підняття рівня води та відповідно і опускання за декілька днів (рисунок 32 а, б).

2015 рік. Сейсмічність проходить на фоні розширення порід, падіння рівня води в неглибокій свердловині (рисунок 33).

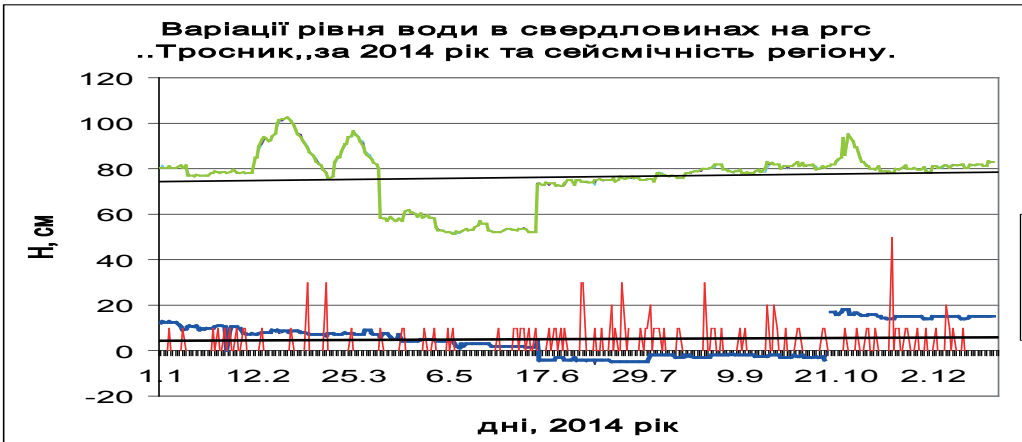
Результати вимірювань параметрів гідрологічного стану в регіоні: -відмічено підвищення рівня води в свердловині глибиною 8 м; -глибока свердловина не реагує суттєво на зміну гідрологічного та метеорологічного стану регіону;-підтверджено гідрологічну складову сейсмічності регіону.



а)



б)



в)

Рис. 32. а). Рівень води неглибокій свердловині за 2014 рік (крива зеленого кольору) та місцева сейсмічність (діаграма синього кольору); б). Рівень води в глибокій свердловині (530 м). 2014 рік; в). Варіації рівня води в свердловинах на РГС “Тросник” за 2014 рік (в свердловині глибиною 530 м – крива синього кольору, в свердловині глибиною 8 м – крива зеленого кольору та місцева сейсмічність – діаграма червоного кольору).

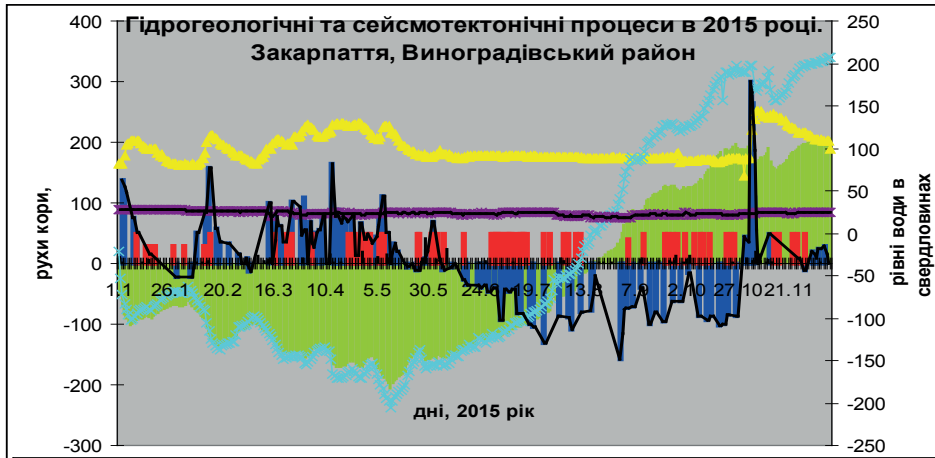


Рис. 33. Комплексний графік варіацій параметрів метеорологічного стану, гідрогеологічного стану, сейсмотектонічних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині в 2015 році: рухи кори (крива жовтого кольору), рівень води в свердловині глибиною 8 м (крива фіолетового кольору), сейсмічність регіону (діаграма червоного кольору), рівень води в річці Тисі (крива синього кольору).

2016 рік. Представлено комплексний графік гідрогеологічного та геофізичного моніторингу на РГС «Тросник» за 2016 рік (рисунок 34).

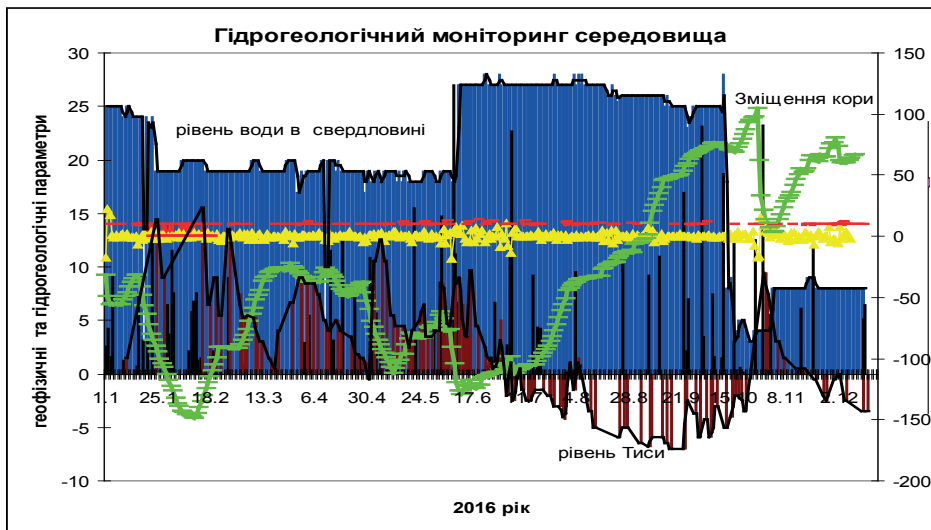


Рисунок 34. Комплексний графік гідрогеологічного та геофізичного моніторингу на РГС «Тросник» за 2016 рік. Рухи кори (крива зеленого кольору); рівень води в свердловині глибиною 530 м (крива синього кольору); рівень води в річці Тисі (крива коричневого кольору).

Рівень води в глибокій свердловині реагує на рівень води в річці Тисі. Рівень води в свердловинах та річках зв'язаний із геодинамікою регіону та сейс-

мічною активністю в регіоні. Землетруси місцевого значення відбуваються після реєстрації гідрологічних аномалій в регіоні, рівень води в свердловині на ці процеси реагують. Дослідження гідрогеологічних характеристик середовища в минулі роки показали: варіації рівня води свердловині глибиною 8 м суттєво реагують на рухи кори в регіоні зареєстровані в зоні Оашського глибинного розлому. На рисунку 35 показано результати дослідження гідрогеологічного та геодинамічного стану регіону за 2016 рік.

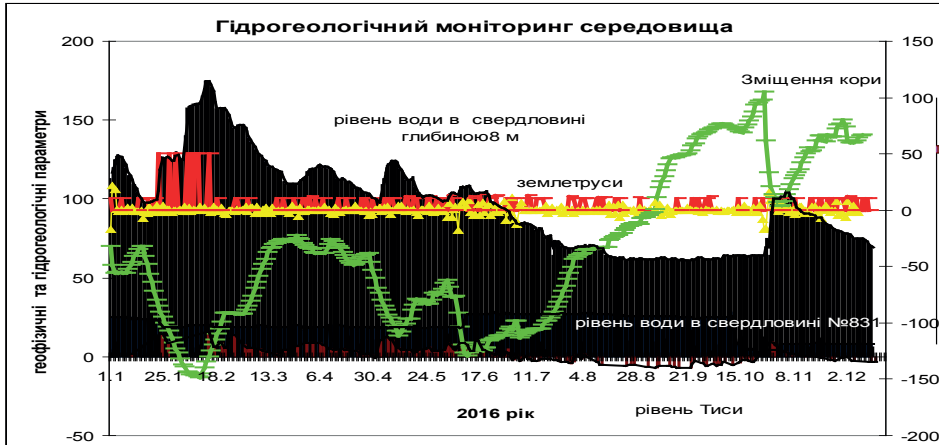


Рис. 35. Рівень води в свердловині глибиною 8 м та гідрогеологічний моніторинг середовища за 2016 рік. _____ рівень води в свердловині глибиною 8 м; ----- сейсмічність регіону; ----- зміщення земної кори в зоні Оашського глибинного розлому;

Максимальна кількість сейсмічних явищ припадає на липень-серпень-відповідно 18-20 землетрусів. В цей період земна кора знаходиться в стадії інтенсивного розширення. Відповідно за цей період рівень води в свердловині глибиною 8 м інтенсивно знижується. Ряди спостережуваних параметрів рівнів води та зміщень земної поверхні корелюються.

2017 рік. Розглянуто рівень води в свердловині глибиною 530 м в 2017 році (рисунк 36 а).



а)



б)

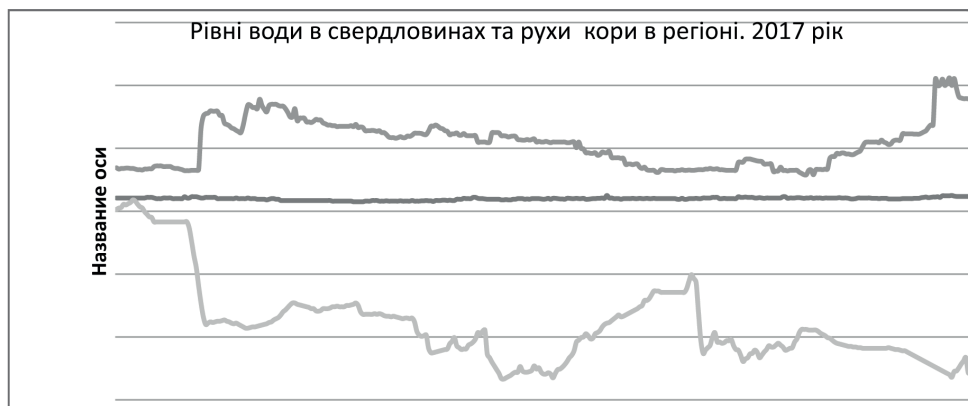
Рисунок 36.а). Рівень води в свердловині глибиною 530 м на РГС «Тросник»;
б). Рівень води в свердловині глибиною 530 м (лінія чорного кольору) та рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому в 2017 році (лінія сірого кольору).

Рівень води в глибокій свердловині за весь період спостереження в 2017 році піднявся на 2.5 см. Стиснення порід викликало підняття рівня води в свердловині глибиною 530 м (рисунок 36 а, б). Результати спостережень рівнів води в свердловинах можна використовувати при оцінці сучасних рухів кори в регіонах, де відсутні високоточні вимірювання зміщень земної кори.

Розглянуто варіації води в свердловині глибиною 8 м та їх зв'язок із рухами поверхневих шарів земної кори (рисунок 37 а, б).



а)



б)

Рисунок 37.а). Варіації рівня води в свердловині глибиною 8 м на РГС «Тросник»;

б). Рівень води в свердловинах та рухи кори в 2017 році.

Рівень води в свердловині глибиною 8 м (лінія чорного кольору);
рухи кори (лінія сірого кольору).

Зміни рівня води в свердловині за 2017 рік становить підвищення величиною 111 см. Важливий характер зв'язку із рухами кори в регіоні (рисунок 37 б). Крива сучасних горизонтальних рухів (сірого кольору) корелюється із кривою рівня води в свердловині глибиною 8 м (крива сірого кольору): стиснення порід супроводжується підняттям рівня води в свердловині, розширення порід-зниженням рівня води.

Рівень води в річці Тисі. Починаючи з 2008 року на РГС «Тросник» проводяться систематичні вимірювання рівня води в річці Тисі. Результати отримані за тривалий період часу відмітили зв'язок рівня води в річці Тисі із атмосферними опадами в регіоні та рівнем води в свердловинах на РГС «Тросник». Гідрогеологічний аспект сеймотектонічних процесів в регіоні: Інтенсивні атмосферні опади в регіоні супроводжуються підняттям рівня води в свердловинах та на річці Тисі. Цей аномальний період також включає в себе аномальні рухи кори, визначені на деформометричній станції, та супроводжується проявом активізації місцевої сейсмічності.

2014 рік. Середньорічний рівень води в річці Тисі біля с.Тросник за 2014 рік становив: -24.4 см (рисунок 38).

Відмічено ріст сейсмічності після періоду понижених рівнів води в річці Тисі. Опади викликають збільшення рівня води в річці Тисі, проте їх випало недостатньо, щоб суттєво збільшити висоту води. Це викликало зниження рівня води в свердловинах та криницях навколишніх сіл. Підтверджено: гідрологічна рівновага мала зв'язок з напружено деформованим станом порід земної кори Закарпатського внутрішнього прогину.

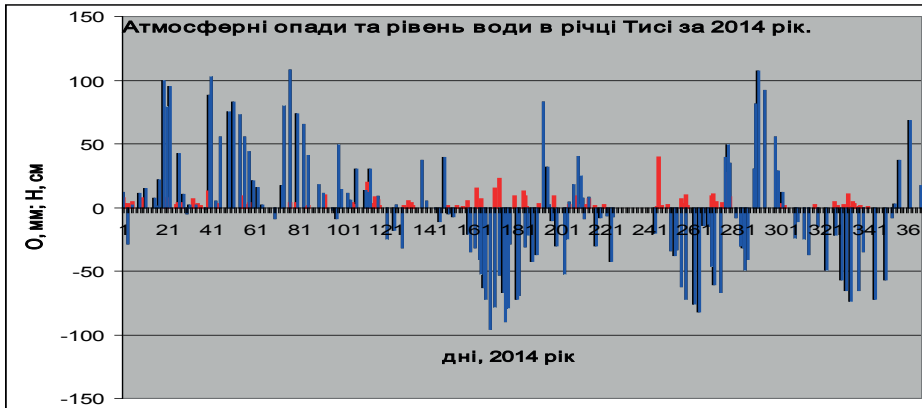


Рисунок 38. Діаграма середньомісячних рівнів води в річці Тисі (діаграма синього кольору) за 2014 рік; опади (діаграма червоного кольору) та рівень води в річці Тисі за 2014 рік (діаграма синього кольору).

2015 рік. Досліджено зв'язок рівня води в річці Тисі в 2015 році та місцевої сейсмічності (рисунок 39).

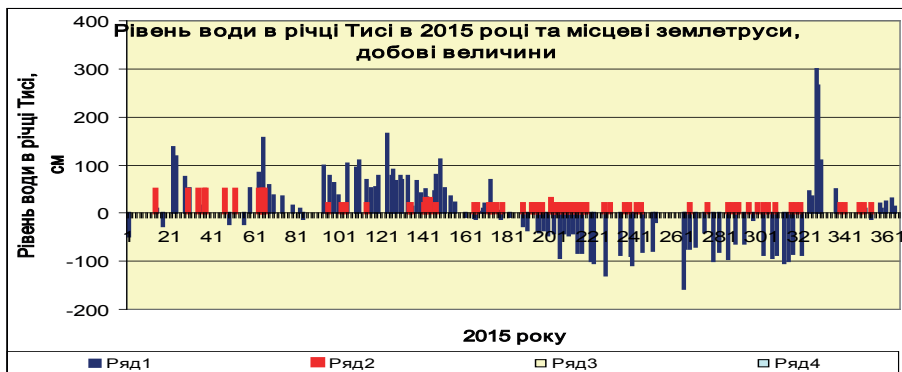


Рис. 39. Добові значення рівнів води в річці Тисі в 2015 році. Місцева сейсмічність.

Відмічено: після інтенсивних опадів землетруси відбуваються через певний інтервал часу; в періоди низьких рівнів води в річці Тисі, землетруси проходять синхронно.

2016 рік. Розглянуто варіації спостережуваних гідрологічних та геомеханічних параметрів за весь рік (рисунок 40).

Як видно із комплексного графіку сейсмічність в регіону проявляється в періоди після атмосферних опадів, підвищення рівня води в річці Тисі, яке супроводжується інтенсивними горизонтальними рухами в зоні Оашського глибинного розлому, що виражено коливаннями кінематичних характеристик поверхневих рухів. Частота прояву місцевої сейсмічності підвищується в період спаду рівня води в річці Тисі (літній період). Цей факт

підтверджує гідрологічний характер геодинамічного стану регіону, зв'язок коливань рівня води в річках із порушенням геомеханічної рівноваги та прояв місцевої сейсмічності.

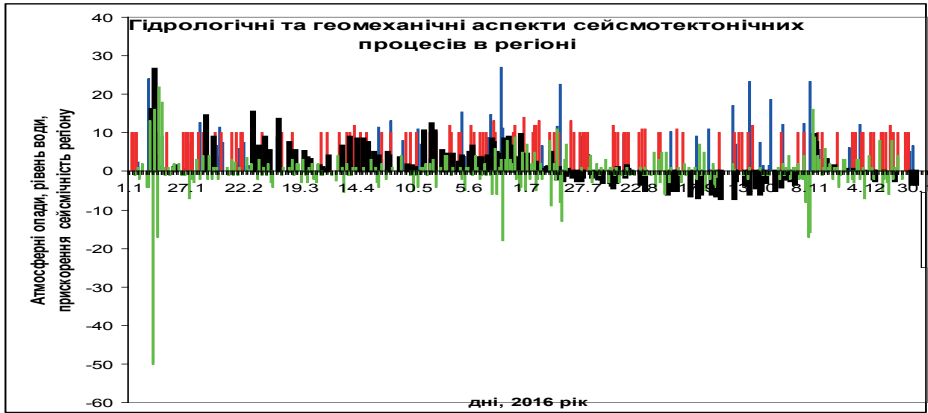


Рис. 40. Гідрологічні та метеорологічні фактори впливу на сейсмотектонічні процеси в регіоні в 2016 році: Атмосферні опади (лінія синього кольору), рівень води в річці Тисі (лінія голубого кольору), прискорення рухів кори в зоні Оаїського глибинного розлому (лінія зеленого кольору), сейсмічність (діаграма червоного кольору).

2017 рік. Проведений аналіз результатів рівня води в річці Тисі за 2017 рік, який показав подібність форм кривих графіків залежностей атмосферних опадів від часу в інші періоди геофізичних спостережень (рисуюнок 41).

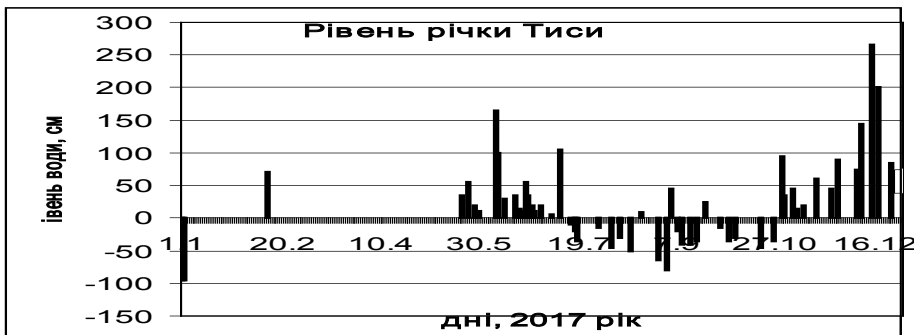
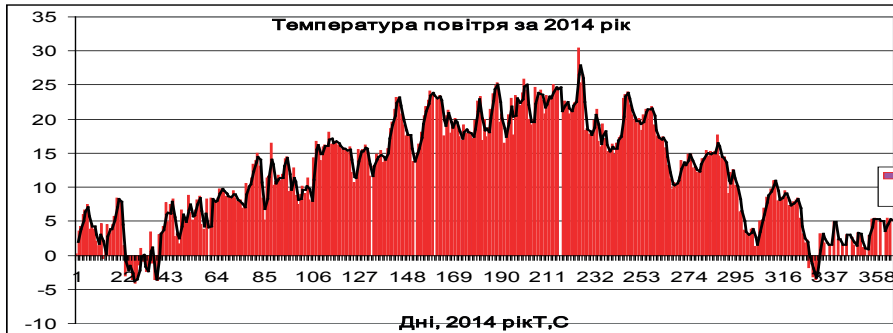


Рис. 41. Рівень води в річці Тисі в 2017 році. С.Тросник Виноградівського району.

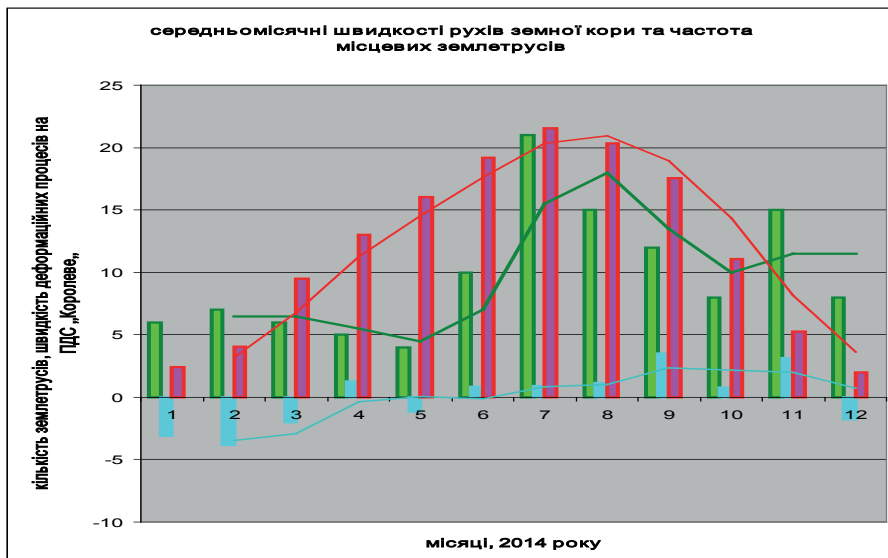
Атмосферні опади викликають підняття рівня води в річці Тисі, що супроводжується аномальними варіаціями прискорення сучасних горизонтальних рухів регіоні. Гідродинамічні процеси прискорюють процес вивільнення енергії напружено деформованого стану порід. Результати досліджень гідрологічного стану, сейсмотектонічних процесів, впливу метеофакторів на геофізичні поля відмітили вплив гідрологічного стану на геодинамічний стан та пов'язаний із ним екологічний стан регіону.

Метеорологічні спостереження. Метеорологічні спостереження на РГС «Тросник» складаються із спостереження температури атмосферного повітря на трьох висотних точках: на поверхні Землі, висоті 2 м та висоті 9 м, атмосферного тиску, вологості повітря, швидкості та напрямку вітрів.

2014 рік. Розглянуто варіацію температури за 2014 рік та сейсмотектонічність в регіоні (рисунок 42 а, б).



а)



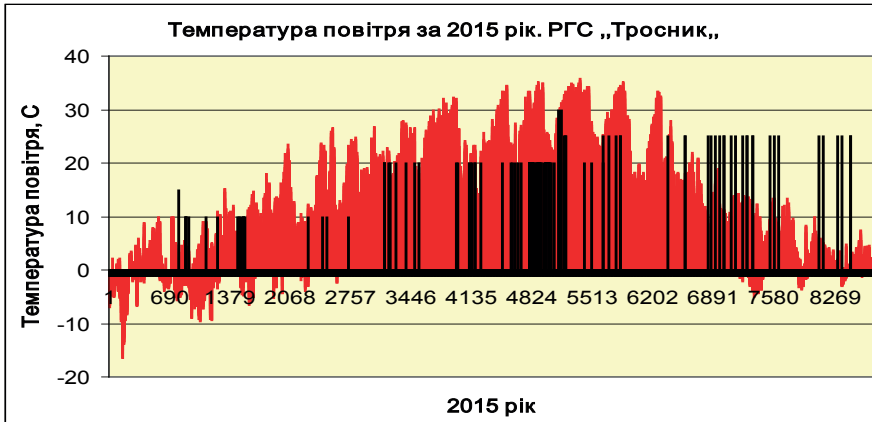
б)

Рис. 42. а). Температура повітря на РГС «Тросник» за 2014 рік;
б). Середньомісячні швидкості рухів земної кори (діаграма голубого кольору), частота місцевих землетрусів (діаграма зеленого кольору) та варіації температури повітря на РГС «Тросник» за 2014 рік.

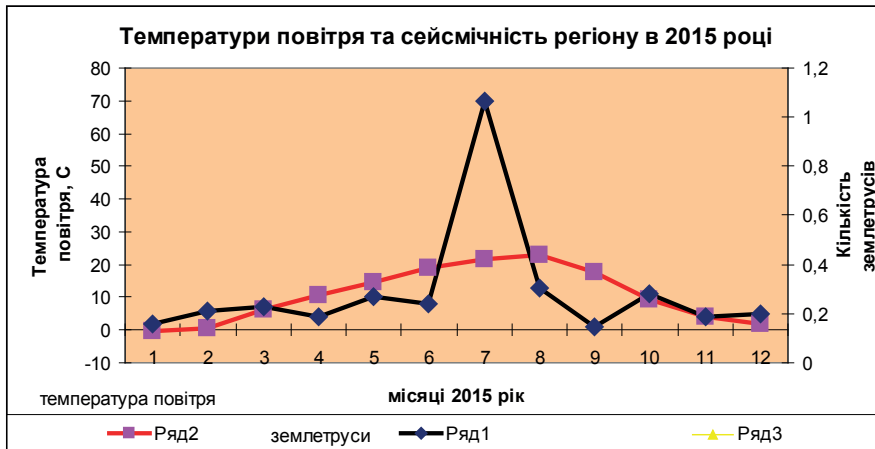
Відмічено кореляція кількості землетрусів та динаміки поверхневих рухів, а також відмічено кореляція кількості рухів та середньомісячних температур за 2014 рік. Середня температура повітря за 2014 рік на РГС «Тросник» становить

:+14,805 °С. Зміщення точки спостережень – стиснення порід, в той же час температура повітря росте в першій половині року. В другій половині року розширення порід відмічено падіння температури повітря. Концентрація землетрусів склалася в період коли розширення порід загальмувалося, тобто рухи геологічних структур які зумовили розширення порід в регіоні після періоду понижених швидкостей та серії відчутних місцевих землетрусів продовжилися.

2015 рік. Отримано графіки залежності температури атмосферного повітря за 2015 рік на РГС «Тросник» (рисунок 43 а). На рисунку 43 б представлено просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності та місячний розподіл температури повітря за 2015 рік.



а)



б)

Рис. 43. а). Температури повітря (діаграма червоного кольору) в 2015 році та місцева сейсмічність (діаграма чорного кольору); б. Сейсмічність (діаграма чорного кольору) та температури повітря в місячному діапазоні (діаграма синього кольору).

Досліджено зв'язок сейсмічності та температури повітря в місячному діапазоні. В такому форматі є певна залежність – максимуми співпадають. Середньорічна температура за 2015 рік становить $+10^{\circ}\text{C}$ яка корелюється із варіаціями сучасних рухів кори (крива зеленого кольору) в 2016 році в Закарпатському внутрішньому прогині. Представлено варіації температури повітря, сейсмічності та динаміки горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому (рисунок 44).

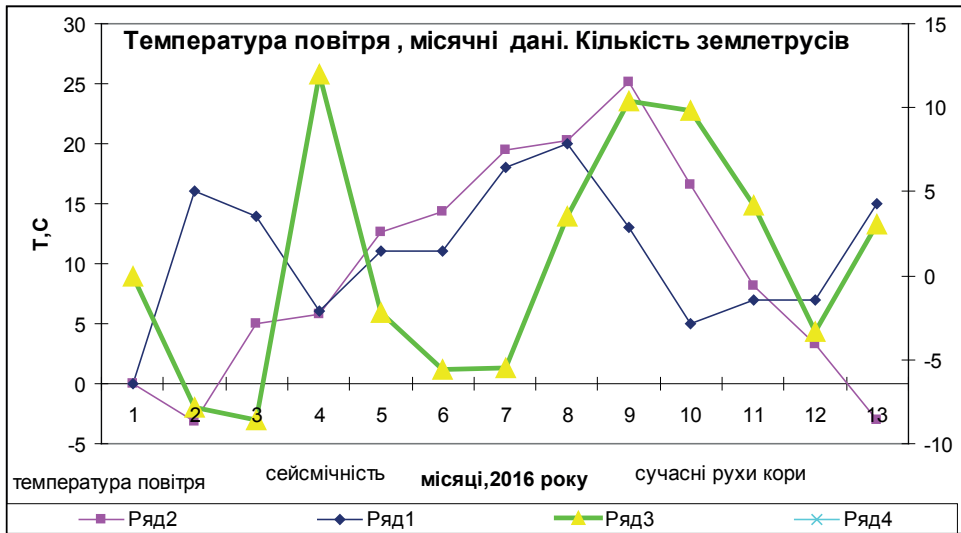


Рис. 44. Варіації температури повітря (крива червоного кольору), сейсмічності (крива синього кольору) та сучасних рухів кори (крива зеленого кольору) в 2016 році в Закарпатському внутрішньому прогині.

Середньорічна температура повітря становить $+10.385^{\circ}\text{C}$, середньорічна кількість землетрусів становить 12 подій. Середньорічне зміщення $+0.829$ мкм. Температура повітря зменшується відносно минулого року. Максимуми графіків температури повітря, рухів кори та сейсмічності об'єднані в одні часові інтервали тривалістю в 2 місяці. В цей період динамічні характеристики суттєво змінюються як за модулем так і за знаком.

2017 рік. Розраховано середньорічну температуру повітря в регіоні, яка становить $+10.61^{\circ}\text{C}$. Аналізуючи криву коливань температури повітря в регіоні, встановлено, що періоди переважаючої кількості зареєстрованих землетрусів супроводжуються періодами низькочастотних коливань температури повітря, які припадають на початок та кінець року. Порівнюючи середньорічні температури повітря, слід відмітити ріст середньорічних характеристик метеорологічного стану регіону (рисунок 45).

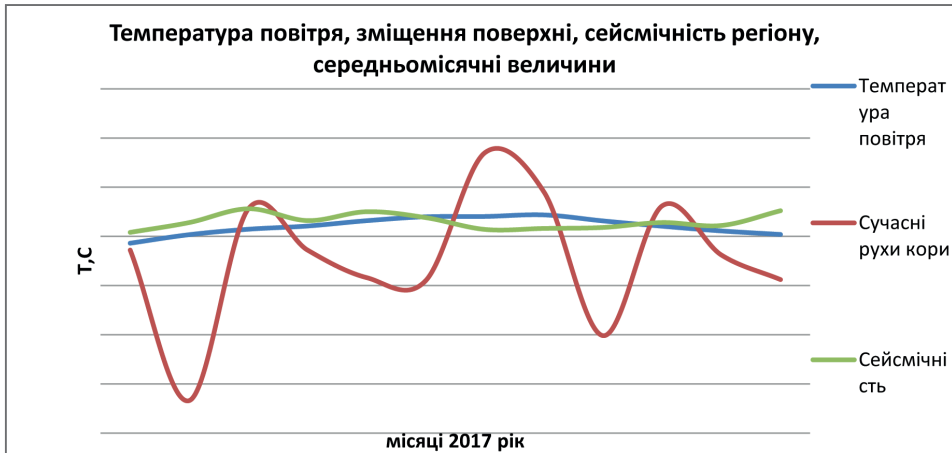


Рисунок 45. Температура повітря (крива синього кольору), сейсмічність (крива зеленого кольору) та характеристики сучасних горизонтальних рухів кори (крива червоного кольору).

Аналізуючи комплексний графік варіацій параметрів геофізичних полів слід відмітити: сучасні рухи зв'язані із зміною температури повітря, сейсмічність корелюється із динамікою сучасних горизонтальних рухів земної кори, а саме із критичними точками.

Атмосферний тиск. На режимних геофізичних станціях, розташованих в Закарпатському внутрішньому прогині серед метеорологічних параметрів також проводяться вимірювання атмосферного тиску в режимі 1 години за допомогою мікробарометра. Отримані результати вимірювання використовують при дослідженні зв'язку метеорологічних параметрів та відповідно сучасних горизонтальних рухів кори, просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності; при вивченні впливу метеорологічних факторів на покази приладів, що вимірюють параметри геофізичних полів: магнітного поля Землі, радіоактивного фону середовища та електромагнітної емісії в різних частотних діапазонах. Проведені вимірювання варіацій атмосферного тиску в минулі періоди відмітили зв'язок їх сейсмотектонічними процесами в досліджуваному регіоні.

2014 рік. На рисунку 46 представлено результати вимірювання атмосферного тиску на режимній геофізичній станції «Тросник» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України за 2014 рік протягом якого на території Закарпаття було зареєстровано декілька відчутних місцевих землетрусів в листопаді місяці з епіцентрами у Виноградівському районі Закарпатської області поблизу кордону із Румунією.

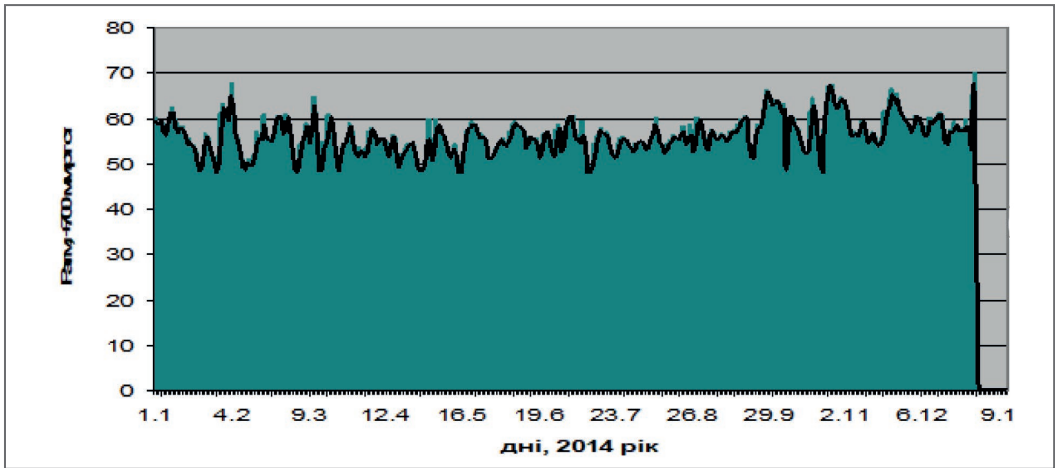


Рис. 46. Варіації атмосферного тиску на РГС «Тросник» за 2014 рік.

Більша частота землетрусів відмічена при підвищених коливаннях середньодобових значень на початку та в кінці року, проте велика кількість землетрусів відбулася в період, коли атмосферний тиск коливався в незначних амплітудах. В річному діапазоні та періоді спостережень атмосферний тиск вносить свій вклад геодинаміку регіону, особливо всередині року, коли атмосферний тиск зменшується і проходить розширення порід. Також слід відмітити активізацію сейсмічності в інтервалах екстремумів атмосферного тиску при максимальних та мінімальних величинах. Досліджено та проведено аналіз зв'язку атмосферного тиску із відчутними сейсмічними подіями в регіоні-листопад 2014 року. Відмічена кореляція цих параметрів – сейсмічні події відбуваються на інтервалах зниження атмосферного тиску та розширення породи в зоні Оашського глибинного розлому.

2015 рік. Деформаційні процеси в зоні Оашського глибинного розлому в 2015 році становлять розширення порід, на яке впливає атмосферний тиск. Більшість сейсмічних подій відбулися при стисненні порід, і відповідно піднятті атмосферного тиску (рисунк 47).

Варіації атмосферного тиску на пункті спостережень за 2015 рік характерні коливаннями різних періодів, причому на початку та в кінці року виділяються періоди в 1 місяць, в кінці весни, на протязі літа та на початку осені, такі періоди не виділяються і мають менші амплітуди коливань. Можна припустити, що такі аномалії коливань атмосферного тиску приводять до коливань рухів земної кори на початку та в кінці року, де в рухах земної кори виділяються коливання такої ж періодичності.

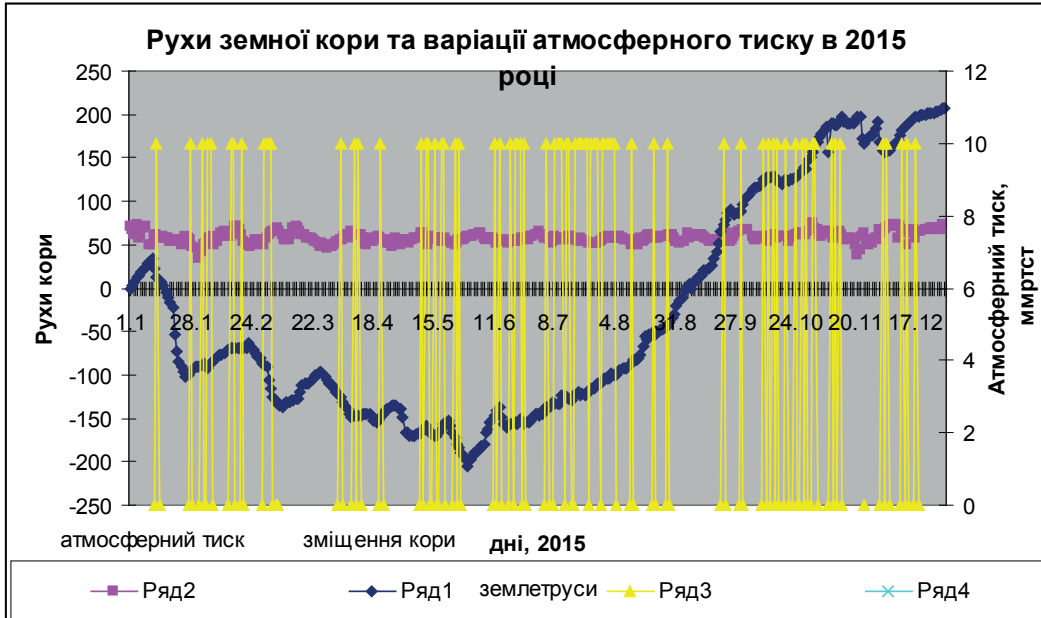


Рис. 47. Сейсмічність регіону (діаграма жовтого кольору), варіації атмосферного тиску (крива червоного кольору), та рухи земної кори в зоні Оаїського глибинного розлому в 2015 році (крива синього кольору).

2017 рік. На рисунку 48 розглянуто варіації атмосферного тиску за період травня-грудня 2017 року.



Рис. 48. Варіації атмосферного тиску на РГС «Тросник» за період травня-грудня 2017 року.

Відмічено: початок та кінець року характерний аномаліями коливань атмосферного тиску, частота коливань величини атмосферного тиску зменшена, а амплітуда коливань збільшена. В цей період спостерігається підвищена сейсмічність в регіоні, проявлена у вигляді 4 відчутних місцевих поштовхів у Виноградівському районі Закарпатської області.

Дослідження варіацій швидкостей повітря на РГС «Тросник» в 2014 році. На режимних геофізичних станціях за допомогою метеорологічних станцій проводяться вимірювання агрофізичних параметрів: швидкостей та напрямків вітру в регіоні. Дослідження варіацій цих параметрів та варіацій параметрів геодинамічного стану відмітили зв'язок їх з екологічно небезпечними процесами геологічного характеру на теренах Закарпатського внутрішнього прогину. На рисунку 49 представлено варіації швидкостей атмосферного тиску спостережуваних на РГС «Тросник» в 2014 році.

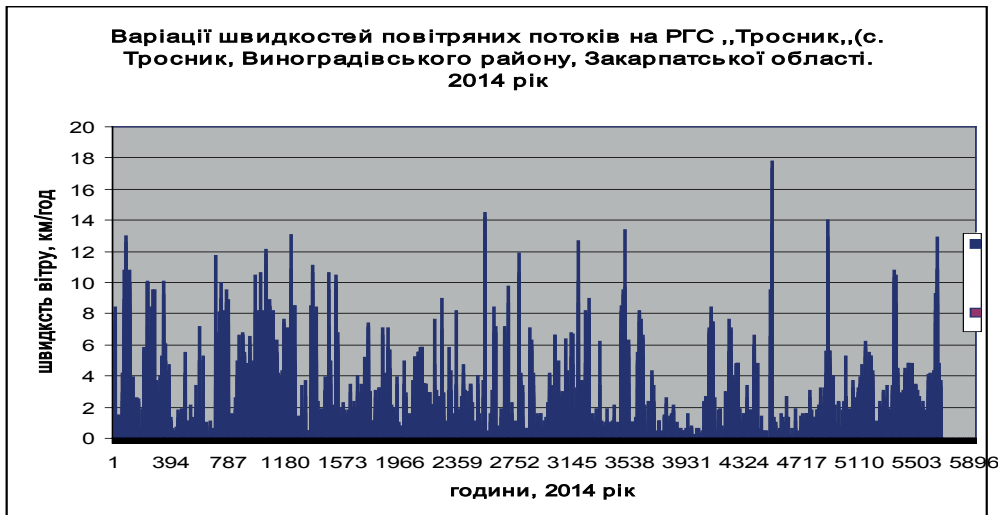


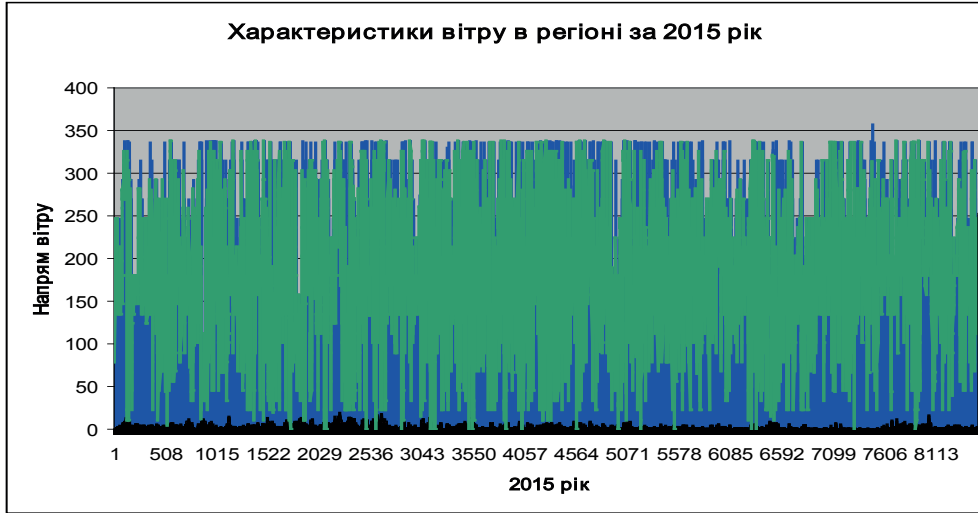
Рис. 49. Варіації швидкостей повітря на РГС «Тросник» в 2014 році.

Як показано на графіку середня швидкість становить 1.39 км/год (0.386 м/с). Перша половина року відмічена порівняно вищими швидкостями (2-3 км/год), друга половина характерна меншими швидкостями (0.5 км/год). Важливим є також варіації температури повітря на різних висотах (2 м та 9 м).

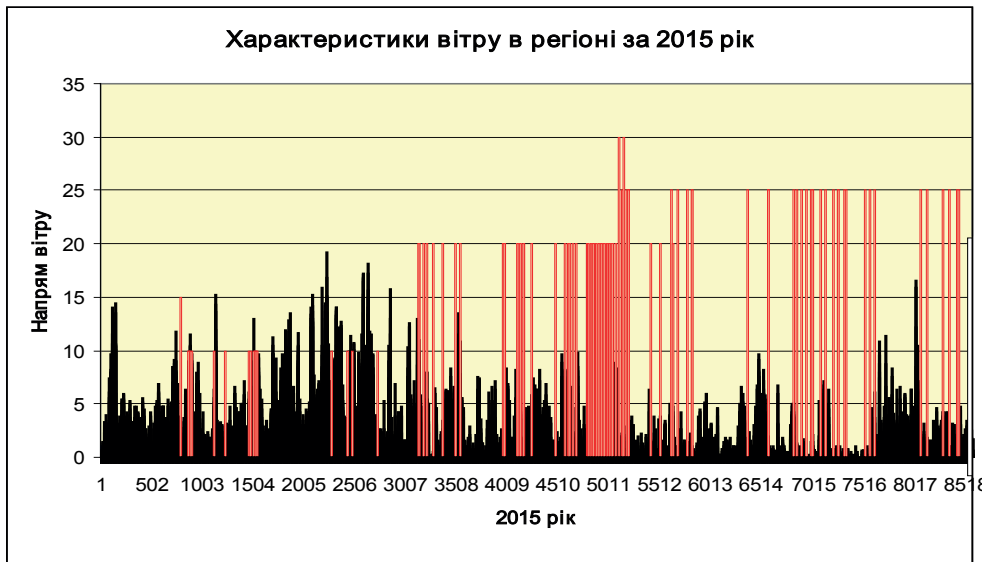
2015 рік. На рисунку 50 показано результати спостереження напрямків вітрів на РГС «Тросник» за період 2015 року.

Найбільш відмічені вітри з півдня (180°), а швидкість вітру становить 1.75 км/год або 0.5 м/с (рисунки 51).

Як видно із графіка вітри сильні на початку та в кінці року. Землетруси відбуваються в безвітряну погоду або після періоду поривів вітрових потоків, зокрема землетруси в липні 2015 року. Вітри в досліджуваному регіоні це переважно вітри з південного боку-південного сходу та південного заходу, середньорічна швидкість вітру становить 1.75 км/год або 0.5 м/с.



*Рис. 50. Основні напрями вітрів в 2015 році на території
Виноградівського району Закарпатської області.*



*Рис. 51. Швидкості вітру (діаграма чорного кольору) та місцева сейсмічність
(діаграма червоного кольору) в 2015 році. РГС «Тросник».*

Результати вимірювань параметрів гідрогеологічного та метеорологічного стану, аналіз результатів геодинамічних та сейсмічних процесів в зоні Оашського глибинного розлому в 2014-2017 роках дозволяє зробити такі висновки: атмосферні опади в регіоні викликають підняття рівня води в річці Тисі; відповідно відмічено підвищення

рівня води в свердловині глибиною 6 м; земна кора в період підвищення кількості опадів зазнає стиснення, в першій половині року; відсутність опадів привело до зменшення рівня води в річках, в той же час на перетині графіків сучасних рухів та рівня води в Тисі відбуваються місцеві землетруси; відсутність опадів змінила баланс сил, що діють на поверхню земної кори; глибока свердловина суттєво не реагує на зміну гідрологічного та метеорологічного стану регіону; підтверджено гідрологічну складову сейсмічності регіону; за відсутності дорогих і складних деформометричних станцій та умов їх облаштувань, результати вимірювань рівня води в свердловинах можна використовувати при вивченні геодинаміки регіону; найбільш чутлива до рухів кори є свердловина глибиною 6 м;

Проаналізовано метеорологічний стан регіону і його вплив на геодинамічний стан, що є передумовою виникнення землетрусу, вивчено дані режимних метеорологічних спостережень на пунктах досліджень. Проаналізовано детально, помісячно зв'язок температурного режиму в регіоні із сейсмічністю Закарпатського внутрішнього прогину. Вивчено варіації атмосферного тиску та його зв'язок із розрядкою напружено-деформованого стану порід, часовий розподіл напрямів вітру, його швидкості та його вплив на місцеву сейсмічність. У річному діапазоні та періоді спостережень атмосферний тиск вносить свій вклад на геодинаміку регіону, особливо всередині року, коли атмосферний тиск зменшується і проходить розширення порід: відмічено кількість атмосферних опадів в регіоні за 2016 рік величиною 513 мм, що становить 50-60% від середньорічної норми для даного регіону; атмосферні опади викликали підняття рівня води в річці Тисі протягом 1 доби.

DOI: 10.51587/9798-9866-95907-2022-009-29-80