



ІГНАТИШИН Василь Васильович

канд. фіз.-мат. наук,

Відділ сейсмічності Карпатського регіону

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

Закарпатський угорський інститут ім. Ф. Ракоці II,
Україна

ЗВ'ЯЗОК ПАРАМЕТРІВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ, ГІДРОЛОГІЧНОГО СТАНУ РЕГІОНУ ІЗ СЕЙСМО- ТЕКТОНІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ ВНУТРІШНЬОМУ ПРОГІНІ ЗА 2020-2021 рр.

Закарпаття – регіон України, який характерний сейсмотектонічними процесами, що в останні періоди активізувалися. На території Закарпатського внутрішнього прогину відбуваються землетруси різного енергетичного класу. Важливі в цьому плані є землетруси, що належать до класу відчутних підземних поштовхів. На фоні сотень слабких землетрусів в рік сейсмічними станціями реєструються одиничні події більшої магнітуди, які відчуються населенням регіону. Актуальність наукових досліджень геофізичного аспекту полягає в тому, що в ряду важливих цілей теоретичного характеру знаходяться і завдання вирішення екологічних проблем в регіоні, який розвивається в різних напрямках народного господарства. Регіон характерний наявністю різних об'єктів критичної інфраструктури: нафто-газопроводів, ліній електропередач тощо. З метою дослідження геодинамічного та сейсмічного станів регіону тут створено Карпатський геодинамічний полігон, де протягом останніх років різними науковими установами створено пункти наукових спостережень, зокрема Карпатським відділенням та Відділом сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України. В Закарпатті в 70–80-х рр. XX ст. було створено стаціонарні пункти комплексних та режимних геофізичних станцій Інституту прикладних проблем механіки і математики АН УРСР, які згодом були об'єднані в Карпатську дослідно-методичну геофізичну партію. Територія Закарпаття охоплена геофізичними спостере-

ження, також сейсмічні станції були об'єднані в Карпатську дослідно-методичну сейсмологічну партію. Обидві партії були підпорядковані створеному Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України. Особливістю режимних геофізичних станцій на території Закарпатського внутрішнього прогину є наявність комплексів геофізичних та метеорологічних спостережень поряд з сейсмічними станціями нового типу вітчизняної розробки – DAS. Густота сейсмічних станцій на території Закарпаття дозволяє реєструвати землетруси широкого енергетичного діапазону та інтенсивності, яких в регіоні реєструється декілька сотень на рік. Отримані сейсмологічні результати спостережень поповнюють банк даних геодинамічного та сейсмічного станів. Важливим є також робота на території Закарпатського внутрішнього прогину унікальних деформометричних станцій різної бази та чутливості. На території Березівського горбогір'я протягом 80–90-х років XX ст. працювали деформометричні станції в с. Мужієве та м. Берегове. В 1989 році в штольні смт. Королеве було змонтовано горизонтальний кварцовий деформограф базою 24 м та азимутом $A=80^\circ$. За результатами деформографічних спостережень в Зоні Оашського глибинного розлому отримано картину сучасних горизонтальних рухів кори: розширення порід із середньою швидкістю $+10 \times 10^{-7}$.

Моніторинг геофізичних параметрів в регіоні проводиться з метою отримати картину геодинамічного стану, вивчення взаємозв'язків геофізичних параметрів в періоди активних сейсмотектонічних процесів для вирішення екологічних проблем регіону та елементів сейсмологічного прогнозу. Важливо вивчити як впливають окремі геофізичні поля на сейсмотектоніку регіону а також як реагують інші геофізичні поля на сейсмотектонічні процеси. Тому актуально розглянути просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності, динаміку сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, які варіації окремих геофізичних полів в інтервалах інтенсивних рухів кори та сейсмічної активізації. Проведені дослідження містять дуже багатий картографічний матеріал, детальний аналіз результатів геофізичних спостережень, використана методика дослідження може бути застосовано в наукових дослідженнях та при викладанні у вищих навчальних закладах при вивченні предметів природничого напрямку.

Проведено аналіз публікацій результатів наукових досліджень, що стосуються геофізичних аспектів досліджуваної тематики. У статті «Роль магнето-

тактичних бактерій у формуванні природного магнетизму ґрунтів України¹ вказано на генезис магнітних властивостей, розвиток носіїв магнетизму у процесі ґрунтоутворення, застосування магнітних методів для визначення стану ґрунтів, вивчення магнітного сигналу органічного походження необхідна при моніторингу забруднення урбанізованих територій, визначенні родючості та ерозійних процесів ґрунтів, дослідженні територій покладів вуглеводнів. У статті «Петрофізичні параметри при поверхневих піщано-глинистих гірських порід за комплексом радіоактивного каротажу»² представлено результати використання апаратурного комплексу, що дозволяє визначати: параметри густини, параметри глинистості, пористість, об'ємний вологовміст, рівень ґрунтових вод, запропоновано ряд нових способів визначення цих параметрів ядерно-геофізичними методами і показано особливості їх отримання в зоні повного водонасичення та в зоні аерації. У статті «Способи вимірювання поперечного часу релаксації порід-колекторів неогенових та кам'яновугільних відкладів газових і нафтових родовищ методом ядерно-магнітного резонансу»³ показано, що із результатів проведених досліджень, індекс вільного флюїду, час позовжньої релаксації та її швидкість значною мірою зумовлені мінералогічним складом гірської породи, структурою порового простору, глинистістю і характером насичення. В умовах сучасних змін клімату в Україні, в світі суттєво підвищується ймовірність настання екстремальних гідрологічних явищ, а саме катастрофічних паводків різного походження. Аналізуючи розподіл території України визначних паводків і водопіль зазначено, що переважна кількість руйнівних паводків припадає на найбільш паводконебезпечний район – Українські Карпати, що є характерною рисою гідрологічного режиму річок⁴. Також зазначено зв'язок паводків в Закарпатському внутрішньому прогині із сейсмічними процесами в регіоні. У статті «Сучасні підходи до визначення проникності порід-колекторів за даними геофізичних досліджень»⁵ показано, що проникність гірської породи – це фізична властивість, що характеризує її

1. Меньшов О. Роль магнетотактичних бактерій у формуванні природного магнетизму ґрунтів України. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 1(80). С. 40–45.
2. Бондаренко М., Кулик В., Євстахевич З. Петрофізичні параметри при поверхневих піщано-глинистих гірських порід за комплексом радіоактивного каротажу. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 1(80). С. 46–52.
3. Федоришин Д., Трубенко О., Федоришин С. Способи вимірювання поперечного часу релаксації порід-колекторів неогенових та кам'яновугільних відкладів газових і нафтових родовищ методом ядерно-магнітного резонансу. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 2(81). С. 39–43.
4. Гопченко Є., Овчарук В., Шакірзанова Ж., Гопцій М., Траскова А., Швець Н., Сербова З., Тодорова О. Моделювання екстремально високих паводків на прикладі гірських регіонів України. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 3(82). С. 6–15.
5. Шинкаренко. А. Сучасні підходи до визначення проникності порід-колекторів за даними геофізичних досліджень. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 3(82). С. 45–54.

здатність пропускати крізь себе флюїди за наявності градієнта тиску, представлено коротку характеристику та аналіз основних методів визначення проникності колекторів вуглеводнів, яка є функцією багатьох параметрів, що викликає додаткові складнощі під час її визначення. З метою врахування факторів, що впливають на проникність, проводять вивчення структури пустотного простору порід, іншої анізотропії, моделюють умови їхнього залягання. У статті «Оценка изменения коллекторских свойств водоносных пород при хранении газообразных углеводородов»⁶ показано, що викликані агресивною дією газу деструктивні зміни скелету порід проходять в приповерхневій зоні потужністю декілька міліметрів. У статті «Розробка алгоритмів та програмних компонентів моделювання квазістаціонарних магнітних полів»⁷ авторами було розроблено модифікований метод граничних елементів (ММГЕ) для дослідження магнітних полів тонкостінних конструкцій у тривимірному просторі, який засновано на методі граничних елементів та вторинних джерел.

У статті «Про методи статистичного моделювання випадкових полів на сфері для даних аеромагнітометрії»⁸ отримано більш детальну реалізацію для даних геомагнітних спостережень у виділеній області, показано, що метод статистичного моделювання реалізацій випадкових полів на сфері дає можливість максимально адекватно доповнити, із заданою детальністю, даними результати вимірювань повного вектора напруженості магнітного поля. У статті «Причина активної сейсмічності в Україні»⁹ зазначено, що в нижній частині кори, спостерігається розвиток коро-мантіїної суміші, тож земна кора області має яскраво виражену фізико-геологічну неоднорідність, яка створює нестабільність літостатичного тиску, що є передумовою появи додаткових напружень. Гіпоцентр землетрусу розташований в районі з різкою зміною структурного плану поверхні Мохо, що супроводжується негативною мантією гравітаційною аномалією. У статті «Гідрогеологічні особливості розрахунків стійкості укосів і схилів у межах урбанізованих територій»¹⁰ показано,

6 Инкин А. Оценка изменения коллекторских свойств водоносных пород при хранении газообразных углеводородов. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 3(82). С. 80–86.

7 Рябенкий В., Чудайкін І., Таргунакова. Ю. Розробка алгоритмів та програмних компонентів моделювання квазістаціонарних магнітних полів. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 3(82). С. 114–120.

8 Вижва З., Демідов В., Вижва А. Про методи статистичного моделювання випадкових полів на сфері для даних аеромагнітометрії. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 3(82). С. 107–113.

9 Чалий О., Дяконеску М., Гурова І., Лісовий Ю., Пігулевський П., Щербина С., Шевцов А., Шумлянська Л. Причина активної сейсмічності в Україні. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 4(83). С. 38–45.

10 Кошляков О., Диняк О., Кошлякова І., Кошлякова Т. Гідрогеологічні особливості розрахунків стійкості укосів і схилів у межах урбанізованих територій. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 4(83). С. 79–83.

що достовірність та точність результатів розрахунків залежить від удосконалення методів визначення водно-фізичного стану ґрунтів і гідродинамічних особливостей руху підземних вод, обґрунтовано необхідність урахування величини інтенсивності інфільтраційного живлення підземних вод та досліджено роль техногенної складової інфільтраційного живлення внаслідок утрат з водних комунікацій на локальних ділянках. У статті «Розробка моделі функціонального стану об'єкта моніторингу для завдань оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій»¹¹ показано варіант побудови моделі функціонального стану об'єкта дослідження для завдань оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, проведено аналіз причин виникнення і розвитку природно-техногенних надзвичайних ситуацій та визначено найбільш характерні з них, оскільки найповніше стан об'єкта дослідження характеризує його система рівнянь, що описує залежність параметрів об'єкта моніторингу, його систем і підсистем від зовнішніх і внутрішніх впливів у процесі його функціонування. Представлено в статті «Виділення мало амплітудних деформаційних аномалій – провісників місцевих Закарпатських землетрусів з урахуванням метеопружних деформацій»¹² розроблену методику дослідження і врахування метеотемпературних впливів на геофізичні (деформографічні) дані, яка дає змогу ефективно враховувати метеотермопружні деформації і виділяти з деформографічних даних малоамплітудні (на рівні у кілька разів менше амплітуд сезонних термопружних деформацій) деформаційні аномалії: провісники землетрусів. Для вивчення сейсмотектонічних процесів широко застосовуються геофізичні методи, зокрема дослідженням параметрів магнітного поля Землі. Магнітні методи виявилися експресними, ефективними та низьковартісними при дослідженні природних та природно-техногенних процесів, пов'язаних із об'єктами критичної інфраструктури за умови комплексування із іншими геофізичними, ґрунтознавчими методиками та ГІС-технологіями¹³, зазначено, що найбільш ризикостійкими ділянками є елементи ландшафту, які знаходяться у межах земель із мінімальним ухилом, відсутністю антропогенного навантаження – сільськогосподарське угіддя та цілина. У статті «Моделі

11 Зацерковний В. Богословський М. Розробка моделі функціонального стану об'єкта моніторингу для завдань оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2018. 4(83). С. 79–83.

12 Назаревич А., Назаревич Л., Баштевич М. Виділення мало амплітудних деформаційних аномалій – провісників місцевих Закарпатських землетрусів з урахуванням метеопружних деформацій. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2019. 1(84). С. 21–26.

13 Меньшов О. Інформативність магнітних методів при моніторингу природно-техногенних процесів, які пов'язані з об'єктами критичної інфраструктури. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2019. 1(84). С. 27–33.

точності автоматизованої системи моніторингу деформацій інженерних споруд»¹⁴ представлено автоматизовану систему моніторингу деформацій інженерних споруд, яка являє собою ланцюг оптико-електронних приладів – деформаційних марок, відмічено, що використання даної системи дозволяє вирішити завдання попереджувальної оцінки динаміки локальної техногенної деформації в інженерній споруді та підвищити рівень техногенної безпеки персоналу інженерної споруди. У статті «Аналіз підходів щодо створення математичної моделі для задач моніторингу природно-техногенних систем на основі визначення ймовірності поступових відмов»¹⁵ викладено підходи створення математичної моделі для задач моніторингу природно-техногенних систем і надзвичайних ситуацій на основі визначення ймовірності поступових відмов, що передбачає комплексні спостереження за змінами природно-техногенного середовища та його компонентів, виміри великої кількості показників, що визначають умови і фактори стану ПТС, екологічного забруднення. Представлено застосування кластерного аналізу для побудови карти радіаційного забруднення довкілля шляхом послідовного проектування від більш пов'язаних до менш пов'язаних радіаційних кластерів на площину контрольованої зони¹⁶. Представлено результати дослідження мінливості мінімального стоку води, який належить до екстремальних режимних характеристик водонесності річок у періоди меженей, що є показниками небезпечності і катастрофічності, зокрема у періоди тривалих посух та в умовах сучасних кліматичних змін, в яких суттєво підвищується ймовірність настання екстремальних гідрологічних явищ¹⁷. Запропоновано природну гідрогеологічну модель будувати на основі даних інженерно-геологічних вишукувань (дані по рівнях підземних вод) на різні періоди часу, що відтворенні у середовищі ГІС, результати яких дають змогу обґрунтувати математичну модель та з достатньою точністю виконати прогнозне моделювання для техногенно порушених територій¹⁸. У статті «Моделі неспіввідносності деформування в структурному аналізі склад-

14 Малік Т., Брик Я., Зацерковний В., Беленок В. Моделі точності автоматизованої системи моніторингу деформацій інженерних споруд. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2019. 1(84). С. 77–82.

15 Зацерковний В., Плічко Л., Богославський М. Аналіз підходів щодо створення математичної моделі для задач моніторингу природно-техногенних систем на основі визначення ймовірності поступових відмов. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2019. 2(85). С. 86–91.

16 Гетманець О., Некос А., Пеліхатий М. Кластерний аналіз і радіаційний моніторинг довкілля. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2019. 3(86). С.75–79.

17 Ободовський О., Лук'янець О., Почаєвцев О., Москаленко С. Багаторічна мінливість абсолютних річних мінімумів стоку води річок України. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2019. 4(87). С. 89–95.

18 Кошляков О., Диняк О., Чомко Д., Кошлякова І. Врахування закономірностей формування, розподілу та впливу підземних вод з метою обґрунтування прогнозної гідрогеологічної моделі на ділянках ущільненої міської забудови. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2019. 4(87). С. 96–99.

частоті Українських Карпат»¹⁹ визначено умови виникнення карпатських структур, які можуть бути наслідком як поздовжньо-поперечного вигину, так і горизонтальної неспіввідності течії, накладеної на початково симетричний або асиметричний вигин складок, встановлено нахил осі стиснення й інтенсивність деформування, показано специфікацію складок із різних структурно-нофаціальних зон Карпат за ступенем стислості та асиметрії, наведено їх генетичне тлумачення. Запропоновані підходи, які забезпечують автоматичний збір даних на режимних геофізичних станціях регіону, приймання-передавання, експрес-аналіз експериментальних польових даних, а також роботу з будь-якою геофізичною інформацією в режимі online²⁰. У статті «Вікові варіації геомагнітного поля на літосферних плитах Землі»²¹ зазначено, що основною закономірністю загальної картини вікової варіації геомагнітного поля є подальше зменшення напруженості поля на всій Землі; а регулярне невелике збільшення поля спостерігаємо тільки на європейській частині Євразійської плити, яке відбувається у коливному режимі у фазі зі зміною геомагнітної активності. Виконані в статті «Прогноз шляхів проходження і місць накопичення вуглеводнів Чернігівського сегмента Дніпровсько-Донецького авлакогену за геомагнітними даними»²² дослідження магнітної сприйнятливості та густини порід осадового чохла Чернігівського сегмента в комплексі з іншими геолого-геофізичними даними дають змогу проаналізувати його магнітну і густинну неоднорідність з погляду генезису і типу осадових порід, процесів трансформації магнітних мінералів за рахунок глибинних вуглеводнів, для оцінки перспективності цього регіону, особливо глибинних частин осадового чохла і кристалічного фундаменту. У статті «Ізостазія і сейсмічність»²³ показано, що в результаті тривалої дії вагових навантажень на опорні площадки вони можуть руйнуватися, що зумовлює переміщення блоків гірських порід, водночас потенціальна енергія частково перетворюється в пакети механічного імпульсу – сейсмічне випромінювання, яке характеризує процес землетрусу. У статті «Довгочасові зміни термічного індексу континентальності,

19 Гончар В. В. Моделі неспіввідності деформування в структурному аналізі складчастості Українських Карпат. Геофізический журнал. 2018. № 1, Т. 40. С. 78–92. DOI:<https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i1.2018.124017>.

20 Савків Л. Г., Ладанівський Б. Т. Сучасні підходи в організації геофізичних досліджень з використанням ІТ-технологій. Геофізический журнал. 2018. № 1, Т. 40. С. 107–117.

21 Сумарук П. В., Сумарук Т. П. Вікові варіації геомагнітного поля на літосферних плитах Землі. Геофізический журнал. 2018. № 1, Т. 40. С. 118–133.

22 Орлюк М. І., Друкаренко В. В. Прогноз шляхів проходження і місць накопичення вуглеводнів Чернігівського сегмента Дніпровсько-Донецького авлакогену за геомагнітними даними. Geophysical Journal. 2018. 40(2). С. 123–140. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.128935>

23 Мишин С. В., Панфилов А. А., Хасанов И. М. Изостазия и сейсмичность. Geophysical Journal. 2018. 40(2). С. 154–163. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.128937>

амплітуди і фази сезонних варіацій температури в Україні»²⁴ проаналізовано особливості просторово-часових варіацій індексів континентальності, амплітуди та фази сезонних варіацій температури на території України в умовах глобального потепління, зазначена деяка тенденція до зміщення фази сезонних коливань температури, під впливом змін клімату: фаза змістилася на $1,9 \pm 1,1$ дні у пізніші сезони в цілому для території України. У статті «Про рух літосферних плит в океанах і перехідних зонах»²⁵ встановлено, що наближення сейсмічного моменту до гранично можливого вмісту енергії в обсязі джерела вказує на дуже швидке формування напруги – протягом періоду набагато менше часу релаксації. Різке зменшення сонячної, геомагнітної активності у 20-му циклі супроводилося різким зменшенням вікових варіацій геомагнітного поля: на континентальних магнітних обсерваторіях у Північній півкулі Землі (Європа і Америка) ефект був позитивний із найбільшою амплітудою на обсерваторіях у регіоні магнітного і геомагнітного полюсів, амплітуда ефекту зменшувалась із зменшенням широти обсерваторії²⁶. Розроблено концептуальну модель трансформаційних процесів у річково-басейнових системах, які відбуваються під впливом природних та антропогенних чинників, визначено параметри структури річкових систем, масштаби розвитку трансформаційних процесів у Бистриці від одного зрізу стану до наступного і за увесь досліджуваний період, виявлено та оцінено ступінь впливу природних й антропогенних чинників на ці трансформації та їхні геоекологічні наслідки, розроблено комплекс природоохоронних заходів, спрямованих на покращення геоекологічного стану²⁷. Отримана інформація про те, що мантия до глибин перехідної зони може містити магнітні мінерали та мати залишкову намагніченість, важлива в інтерпретації як сучасних магнітних аномалій, так і палеомагнітних даних²⁸. Отримані характеристики напружено-деформаційного стану літосфери Землі за даними моделювання геопалеорекострукцій в геологічному часі, представлена інтерпретація ролі гравітаційно-ротаційних сил у формуванні глобального поля деформацій і напружень як наслідок трансформації

24 Бойченко С., Волощук В., Кучма Т., & Serdyuchenko, N. Довгочасові зміни термічного індексу континентальності, амплітуди і фази сезонних варіацій температури в Україні. *Geophysical Journal*. 2018. 40(3). С. 81–96. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137175>.

25 Гордієнко В.В. Про рух літосферних плит в океанах і перехідних зонах. *Geophysical Journal*. 2018. 40(3). С. 129–144.

26 Сумарук Т. П., Сумарук П. В. Особливості вікових варіацій геомагнітного поля у 20-му циклі сонячної активності. *Geophysical Journal*. 2018. 40(3). С. 179–191.

27 Ковальчук А., Ковальчук І., Павловська Т. Трансформаційні процеси у річково-басейновій системі Бистриці та їх геоінформаційно-картографічні моделі. *Геодинаміка*. 2020. 2(29). С. 33–50.

28 Орлюк М. І., Друкаренко В. В., Шестопалова О. Є. Магнітомінералогічне обґрунтування намагніченості верхньої мантиї Землі. *Огляд. Геодинаміка*. 2020. 2(29). С. 89–96. <https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.089/>

фігури поверхні літосфери Землі. Отримані результати будуть використовуватись у подальших дослідженнях, які спрямовані на вивчення планетарних характеристик нашої планети, динаміки їх змін в часі та глобального напружено-деформованого стану²⁹. Для Українських Карпат побудована модель тензора швидкості обертання, вказано, що область дослідження слід інтерпретувати як деформовану територію. На основі обчислень з GNSS-моделі даних компонентів горизонтальних деформацій встановлено норми основних значень та швидкості основних осей деформації земної кори, де основні тектонічні утворення показані як фонові інтенсивності різних компонентів швидкостей, швидкість обертання та тензори швидкості деформації³⁰. Встановлено нелінійний характер дії сезонних змін вологості ґрунту на вертикальні переміщення земної поверхні залежно від абсолютного значення вологості; якщо вологість ґрунту перевищує його максимальну молекулярну вологомісткість, то її варіації не впливають на динаміку Землі³¹. Обернення хвильових форм лише прямих Р-хвиль, дає змогу визначати механізм вогнища землетрусу за даними малої кількості станцій, що особливо актуально у регіонах з порівняно невисоким рівнем місцевої сейсмічної активності, до яких належить Передкарпаття, зіставлення механізму з даними про геологічну будову регіону дало змогу з'ясувати ймовірні тектонічні передумови землетрусу і пов'язати його зі зсувом ґрунту поблизу м. Стебник³². Побудовано макромодель, яка включає параметри сейсмічних процесів, Сонця, Місяця та координати GNSS-станції, знайдено похідні та різні характеристики отриманої моделі, застосовано кореляційний аналіз для уточнення встановлених припущень, які можна застосувати для підвищення точності координат, отриманих за допомогою GNSS-спостережень³³. Електромагнітний моніторинг типово проводиться поряд з сейсмічно активними регіонами, згідно теорії деякі явища мають глобальне походження, використано звичайні магнітотелуричні дані, записані в точках, розташованих у середніх широтах досить далеко від сейс-

29 Церклевич А. Л., Шило Є., Шило О. Зміни фігури Землі – геодинамічний фактор напружено-деформованого стану літосфери. *Геодинаміка*. 2019. 1(26). С. 28–42. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2019.01.028>

30 Марченко О., Перій С., Ломпас О. В., Голубінка Ю. І., Марченко Д. О., Крамаренко С., Abdulwaslu Salawu. Визначення тензора швидкостей горизонтальних деформацій в регіоні Західної України. *Геодинаміка*. 2019. 2(27). С. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2019.02.005>.

31 Павлик В. Г., Кутний А. М., Кальник О. П. Особливості впливу сезонних варіацій вологості ґрунту на вертикальні рухи земної поверхні. *Геодинаміка*. 2019. 2(27). С. 16–23. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2019.02.016>.

32 Малицький Д. В., Гніп А. Р., Грицай О. Д., Муровська А. В., Кравець С. В., Козловський Е. М., Микита А. Ю. Механізм вогнища і тектонічний контекст землетрусу 29.09.2017 р. поблизу м. Стебник. *Геодинаміка*. 2018. 1(24). С. 100–110. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2018.01.100>.

33 Савчук С., Янків-Вітковська Л. М., Джуман Б. Вплив сейсмічних процесів, Сонця і Місяця на малі зміни координат GNSS-станцій. *Геодинаміка*. 2018. 2(25). С. 15–26. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.015>.

мічно активних регіонів, показано, що такі глобальні зв'язки між сейсмічними і електромагнітними подіями з високою ймовірністю існують³⁴. Згідно з дослідженнями, радонові аномалії генеруються радіоактивними елементами ураном і торієм, які концентруються в породах, ґрунтах і підземних водах, особливо в зонах впливу розломів, активних у сучасну епоху, максимальні його кількості генеруються в геодинамічно активних зонах поверхневих відкладів, пов'язаних з розривними порушеннями в корінних породах. Найбільшу небезпеку становлять ділянки, де такі розриви локалізовані в гранітах, які неглибоко залягають. Максимальна кількість радону встановлена в геодинамічних активних зонах покривних відкладів, які пов'язані з розривними порушеннями в корінних породах³⁵.

На території Закарпатського внутрішнього прогину тривалий період проводяться вимірювання параметрів різних геофізичних полів, зокрема магнітного поля Землі, електромагнітної емісії, варіацій метеорологічних параметрів, гідрогеологічного стану регіону в плані вивчення взаємозв'язків із сейсмотектонічними процесами в регіоні. За результатами наукових досліджень представлено важливі висновки, зокрема про просторово-часові розподіли місцевих землетрусів, зазначено метеорологічний аспект сейсмотектонічного стану Закарпатського внутрішнього прогину в періоди досліджень³⁶. Зв'язок гідрогеологічного та геодинамічного станів Закарпатського внутрішнього прогину описано в статті «Зв'язок гідрогеологічного та геодинамічного станів Закарпатського внутрішнього прогину»³⁷. Результати дослідження зв'язку варіацій аеродинамічних параметрів та сейсмотектонічних процесів на геологічних структурах Закарпаття представлено в статті «Дослідження зв'язку варіацій аеродинамічних параметрів та сейсмотектонічних процесів на геологічних структурах»³⁸. Зв'язок електромагнітної емісії низькочастотного діапа-

34 Семенов В. Ю., Ладанівський Б. Т., Петріщев М. С. Виявлення проявів землетрусів у варіаціях природного електромагнітного поля. *Геодинаміка*. 2018. 2(25). С. 15-26. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.065>.

35 Орлюк М., Марченко А., Яцевський П. Зв'язок радонових і магнітних аномалій на території Українського щита та міста Києва. *Геодинаміка*. 2018. 1(24). С. 80-90.

36 Ihnatyshyn V.V., Ihnatyshyn M.B., Ihnatyshyn A.V., Ihnatyshyn V.V.(Jr.) . Spatio-temporal distribution of seismicity Carpathian –Balkan region in 2015-2016. *Scientific discussion*. VOL 1, No 9 (2017) Scientific discussion (Praha, Czech Republic) The journal is registered and published in Czech Republic. p. 46-60. ISSN 3041-4245; Ігнатишин В.В., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Метеорологічний аспект сейсмотектонічного стану Закарпатського внутрішнього прогину в 2016 році. *Magyar Tudományos Journal*(Budapest, Hungary). EMKE Bulding, Budapest. 2017. С. 9-16. ISSN 1748-7110.

37 Ігнатишин В. В., Ігнатишин М. Б., Ігнатишин А. В. Зв'язок гідрогеологічного та геодинамічного станів Закарпатського внутрішнього прогину. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія "Географічні науки"*. 2017. Випуск 7. С. 127–135. ISSN 241-73-91

38 Ігнатишин В. В., Іжак Т. Й. Дослідження зв'язку варіацій аеродинамічних параметрів та сейсмотектонічних процесів на геологічних структурах. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія "Географічні науки"*. №8. С. 177–184. ISSN 2413-7391.

зону з геодинамічним та сейсмічним станами Закарпаття розглянуто в статті «Зв'язок електромагнітної емісії низькочастотного діапазону з геодинамічним та сейсмічним станами Закарпаття в 2017 році»³⁹.

1. Магнітне поле Землі та сеймотектонічні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині

Магнітне поле Землі одне із найбільш вивчених геофізичних полів, зокрема на території Закарпатського внутрішнього прогину. На режимних геофізичних станціях та магнітометричних обсерваторіях, що функціонують у регіоні обладнані різні типи магнітометричних станцій: МПП-1М, МВ-01. Проведені дослідження зазначили особливості, що вказують на зв'язки варіацій параметрів вектора магнітної індукції магнітного поля Землі, просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, сучасних горизонтальних рухів кори на геологічних структурах сеймогенеруючих територій. Проведено вивчення впливу магнітного поля на екологічний стан регіону, геодинаміку та сейсмічний стан регіону в режимі щогодинних спостережень та середньодобових значень величин параметрів геофізичних полів.

Січень 2020 року. Представлено часову залежність вектора магнітної індукції магнітного поля Землі в січні 2020 року. Місячний хід вектора магнітної індукції становить +48 нТл (рисунк 1.1. а, б). Визначено періодичний характер коливання величини вектора магнітної індукції із періодом 4–5 діб.

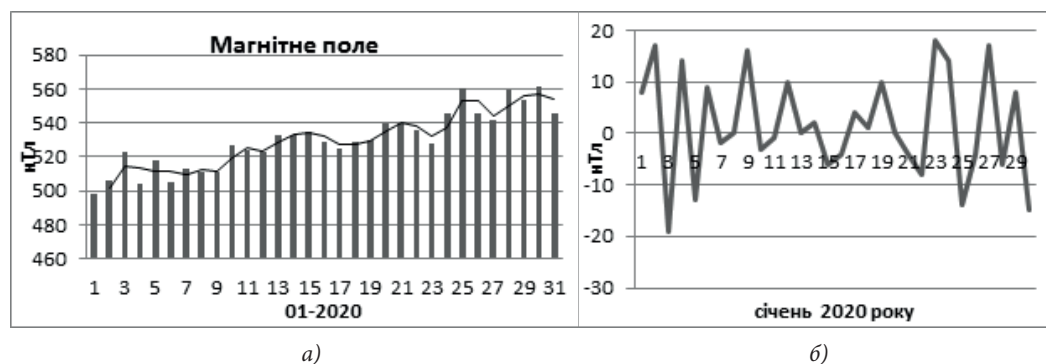


Рис. 1.1. а) Варіації вектора магнітної індукції магнітного поля Землі в січні 2020 року на РГС «Тросник» (середньодобові величини); б) Зміна вектора магнітної індукції магнітного поля в січні 2020 року на РГС «Тросник» (середньодобові величини).

³⁹ Ігнатишин В. В., Іжак Т. Й., Ігнатишин А. В., Ігнатишин М. Б. Зв'язок електромагнітної емісії низькочастотного діапазону з геодинамічним та сейсмічним станами Закарпаття в 2017 році. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія "Географічні науки". №9. С. 115–122.

Розраховано швидкість добових змін вектора магнітної індукції за січень 2020 року на РГС «Тросник» (рисунк 1.1. б). Амплітуда коливання вектора магнітної індукції на початку місяця становить 18 нТл, відповідно в кінці місяця амплітуда коливання становить 15 нТл. Важливо дослідження вектора магнітної індукції в січні місяці 2020 року, оскільки 23 січня 2020 року зареєстровано відчутний місцевий землетрус інтенсивністю 4–5 балів у Виноградівському районі. За січень 2020 року на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 10 місцевих землетрусів, важливо, що серед них один відчутний місцевий землетрус. Особливість цього явища є те, що протягом тривалого сейсмічного затишшя: від липня 2019 року по 23 січня 2020 року, незважаючи на велику кількість місцевих невідчутних землетрусів, не зазначено жодного відчутного місцевого землетрусу. В зв'язку з тим що геомеханічні процеси не зникають, ймовірність виникнення місцевого відчутного землетрусу зростає. Важливо визначити періоди накопичення енергії геофізичних процесів та періоди можливої розрядки напружено деформованого стану порід. Найбільш вивченим є магнітне поле Землі, магнітометри функціонують на всіх геофізичних станціях регіону. Представлено просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності за січень 2020 року (рисунк 1.2).

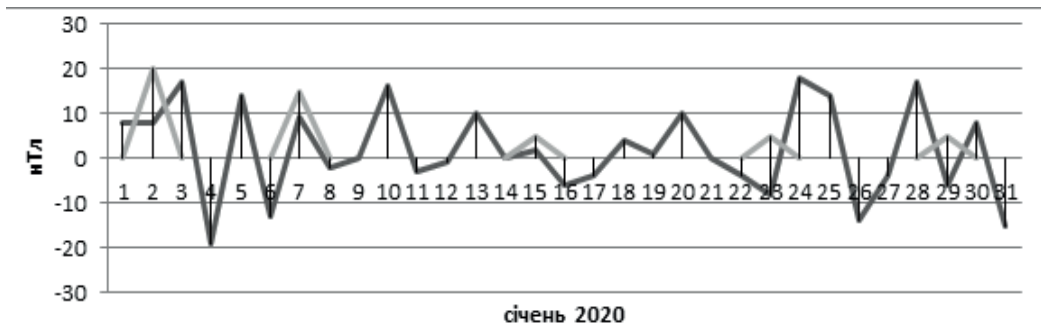
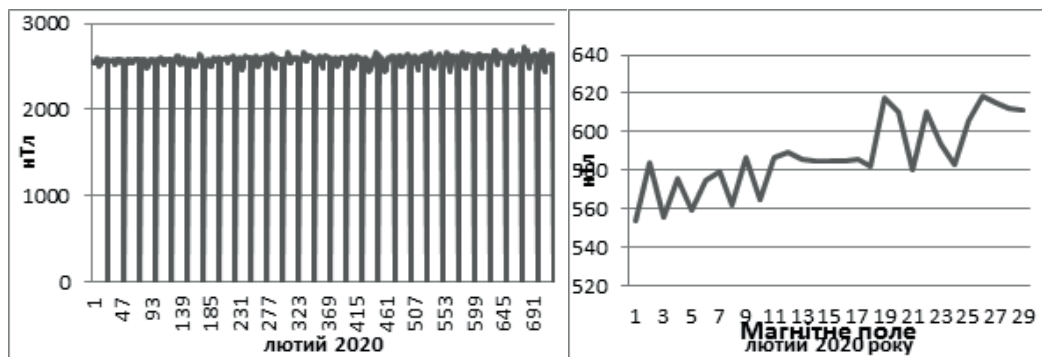


Рис. 1.2. Сейсмічність регіону (крива сірого кольору), магнітне поле Землі в січні 2020 року на РГС «Тросник» (крива чорного кольору).

В першій половині січня 2020 року землетруси реєструються в періоди зростання вектора магнітної індукції, в другій половині місяця землетруси зареєстровано в час зменшення вектора магнітної індукції. Відчутний місцевий землетрус 23 січня 2020 року реєструють в період зменшення вектора магнітної індукції. В лютому 2020 року магнітна індукція на РГС «Тросник» зросла на 65 нТл (рисунк 1.3. а, б).



а)

б)

Рис. 1.3. а) Магнітне поле в лютому 2020 року на РГС «Тросник» (щогодинні спостереження); б) середньодобові величини.

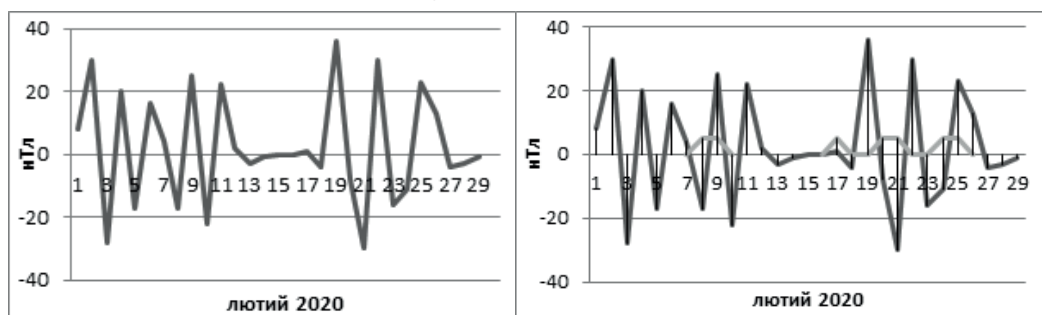


Рис. 1.4. а) Зміни вектора магнітної індукції в лютому 2020 року; б) Варіації вектора магнітної індукції в лютому 2020 року (крива чорного кольору), просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності (діаграма сірого кольору). РГС «Тросник».

В першій половині місяця коливання вектора магнітної індукції має періоди 2–3 доби, потім коливання мають період 3 доби. Представлено розподіл сейсмічності в лютому 2020 року та коливання вектора магнітної індукції (рисунок 1.4. б). Землетруси зареєстровано в періоди інтенсивних змін вектора магнітної індукції в регіоні, зменшення величини магнітного поля в регіоні, зазначено період мінімальних коливань вектора магнітної індукції тривалістю 6 діб.

Березень 2020 року. В березні 2020 року магнітна індукція збільшилася на 31 нТл (рисунок 1.5. а, б).

Представлено динаміку зміни вектора магнітної індукції за березень 2020 року (рисунок 1.6. а). Швидкість зміни вектора магнітної індукції збільшена на початку місяця та останній декаді. Періодичність коливання вектора магнітної індукції становить 2–3 доби.

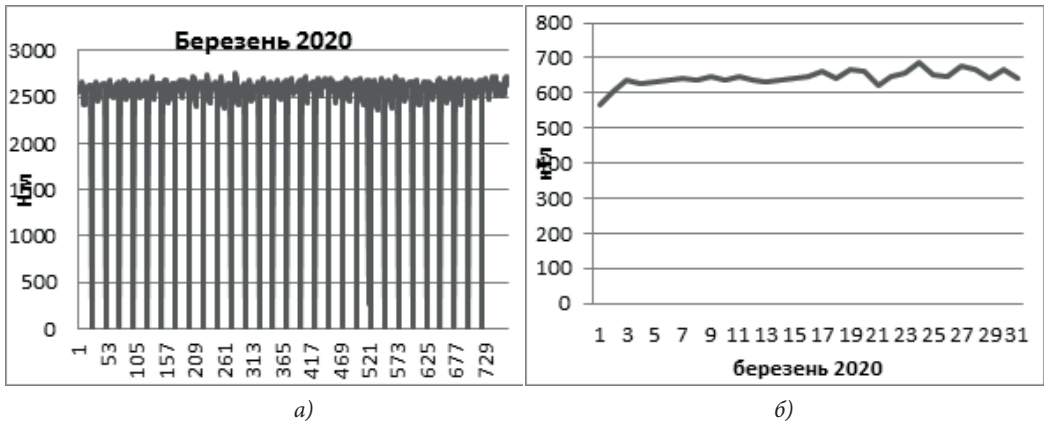


Рис. 1.5. Варіації вектора магнітної індукції на РГС «Тросник» в березні 2020 року:
а) щогодинні спостереження, б) середньодобові величини.

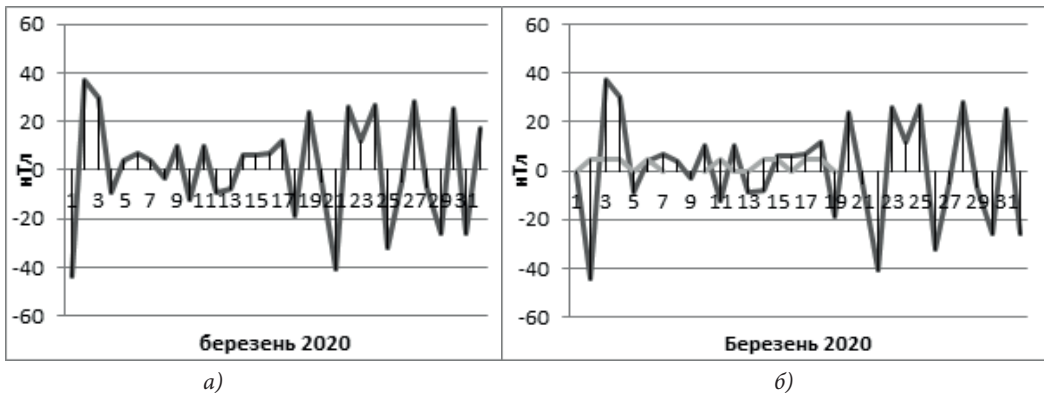


Рис. 1.6. а) Динаміка зміни вектора магнітної індукції за березень 2020 року на РГС «Тросник»;
б) Сейсмічність регіону (крива сірого кольору) та зміни вектора магнітної індукції
(крива чорного кольору). Березень 2020 року. РГС «Тросник».

В березні 2020 року зареєстровано 10 місцевих землетрусів на території Закарпатського внутрішнього прогину (рисунок 1.6. б). Сейсмічність регіону активізована в першій половині місяця, коли динаміка магнітного поля незначна, сейсмічність відмічено як при зменшенні так і при збільшенні магнітного поля. **Квітень 2020 року.** В квітні 2020 року магнітна індукція збільшилася на 101 нТл (рисунок 1.7).

Розраховано швидкість зміни параметра вектора магнітної індукції за квітень 2020 рік на РГС «Тросник» (рисунок 1.8. а, б).

В квітні 2020 року зареєстровано 17 землетрусів на території Закарпатського внутрішнього прогину. Перша половина місяця характерна інтенсивними змінами магнітного поля з амплітудами 60 нТл, періоди – 2–4 доби (рисунок 1.8. б). Землетруси зареєстровані в інтервалах, коли магнітне поле

змінюється на високу величину. Зміна магнітного поля викликана певними причинами, зокрема рухами кори. В травні модуль вектора магнітної індукції зменшився на 28 нТл (рисунок 1.9. а, б).

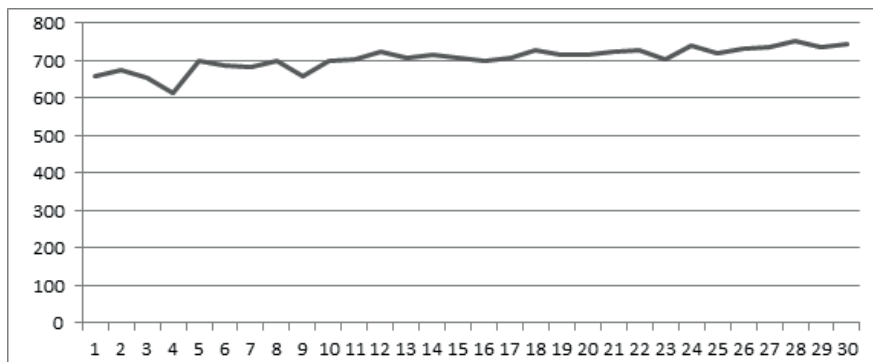
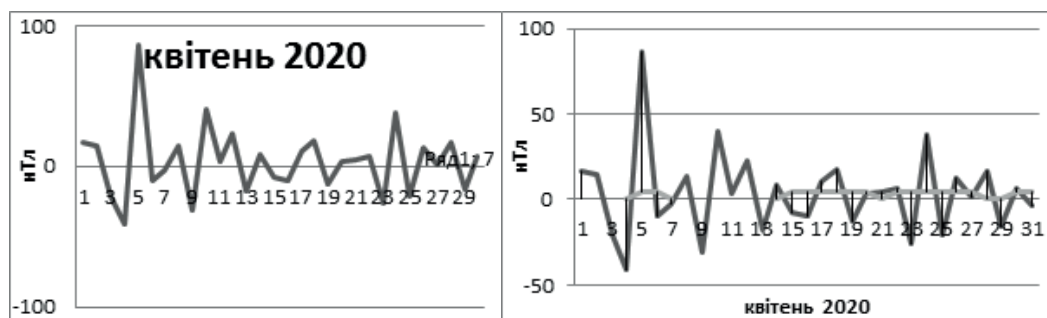


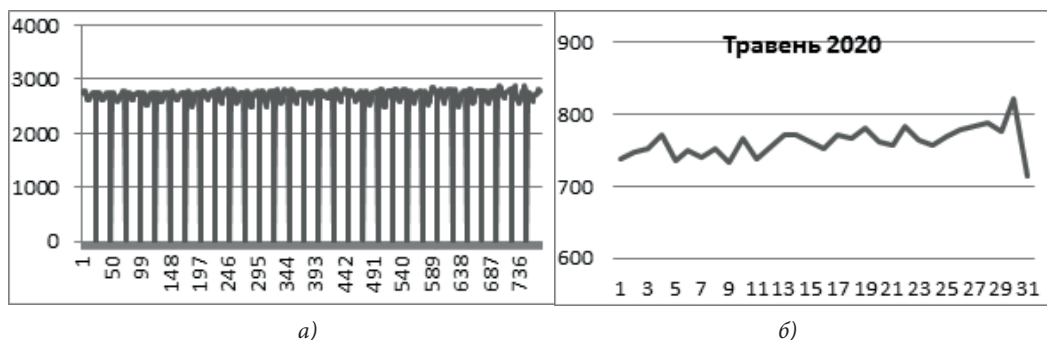
Рис. 1.7. Магнітна індукція магнітного поля Землі в квітні 2020 року на РГС «Тросник» (середньодобові значення).



а)

б)

Рис. 1.8. а) Зміна магнітного поля Землі в квітні 2020 року на РГС «Тросник»; б) Динаміка магнітного поля Землі на РГС «Тросник» у квітні 2020 року (крива чорного кольору), сейсмічна активність регіону (крива сірого кольору). Закарпатський внутрішній прогин.



а)

б)

Рис. 1.9. а) Магнітна індукція в травні 2020 року на РГС «Тросник» (щогодинні спостереження); б) Магнітна індукція магнітного поля Землі в травні 2020 року на РГС «Тросник» (середньодобові значення).

Виділяється періодичність тривалістю 2–4 доби. Динаміка варіації модуля вектора магнітної індукції представлена на рисунку 1.10. а.

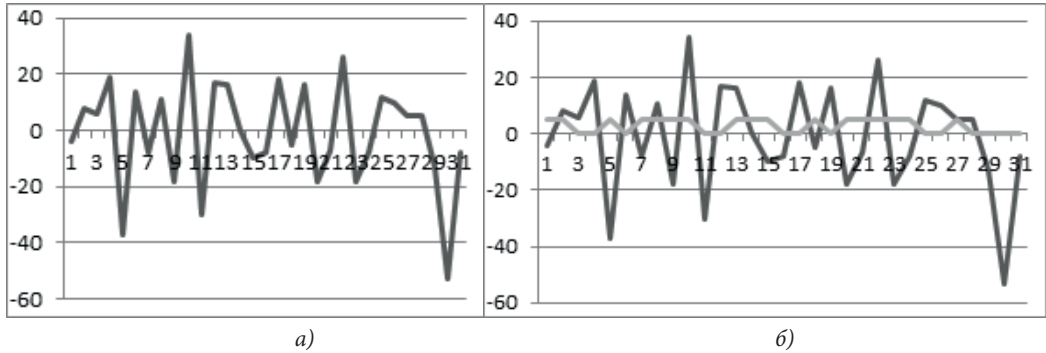


Рис.1.10. а) Варіація швидкостей зміни магнітної індукції магнітного поля Землі на РГС «Тросник». Травень 2020 року;
б) Сейсмічність регіону (крива сірого кольору) та динаміка магнітного поля Землі (крива чорного кольору) в травні 2020 року на Закарпатському внутрішньому прогині.

В травні 2020 року на території Закарпаття зареєстровано 20 землетрусів (рисунок 1.10.б). Сейсмічність проявлена в періоди зменшення магнітного поля Землі. Варіації вектора магнітної індукції магнітного поля Землі спостережуваного на РГС «Тросник» в червні 2020 року представлено на рисунку 1.11. а, б.

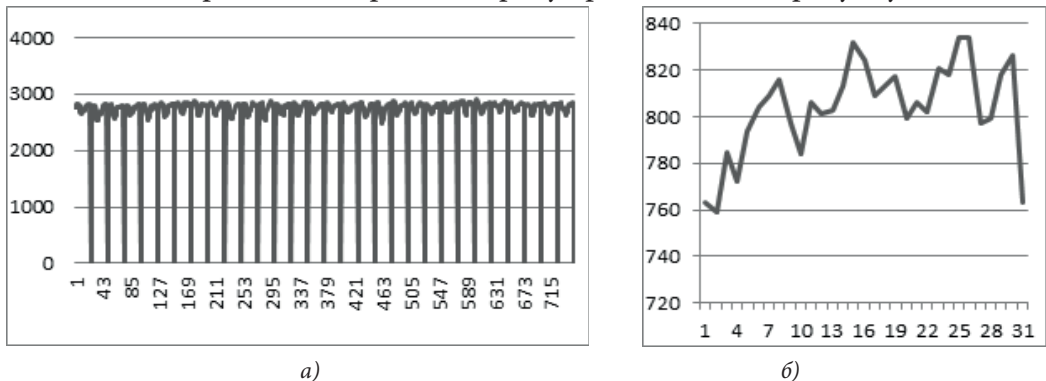


Рис.1.11. а) Варіації магнітної індукції магнітного поля Землі за червень 2020 року (щогодинні спостереження). РГС «Тросник»;
б) Варіації магнітної індукції магнітного поля Землі за червень 2020 року (середньодобові величини). РГС «Тросник».

Виділено періоди коливання магнітної індукції за червень 2020 року: 2–5 діб, 7 діб. Розраховано динаміку зміни магнітної індукції за червень 2020 року (рисунок 1.12. а).

Вектор магнітної індукції за місяць зменшується. За червень 2020 року зареєстровано на Закарпатському внутрішньому прогині 25 місцевих землетрусів (рисунок 1.12. б). В інтервалах інтенсивних змін параметру магнітного

поля Землі сейсмічність проявляється серією місцевих землетрусів. В липні 2020 року вектор магнітної індукції змінився на +48 нТл (рисунки 1.13. а, б).

Магнітна індукція зростає за досліджуваний період, величини коливаються з періодом 2–6 діб. Розраховано добові швидкості зміни вектора магнітної індукції (рисунки 1.14. а).

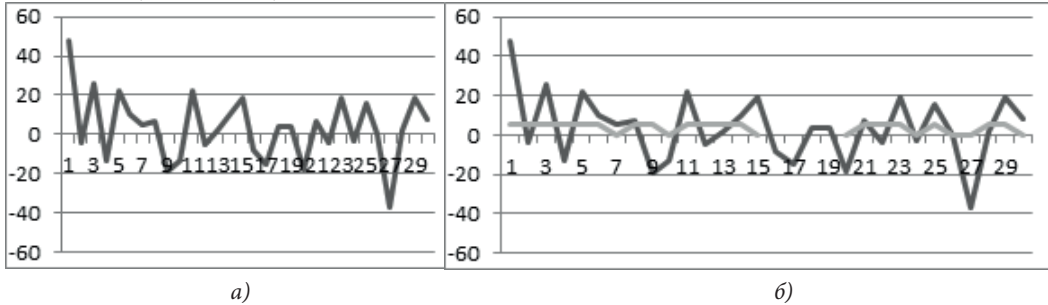


Рис.1.12. а) Динаміка магнітної індукції магнітного поля в червні 2020 року на РГС «Тросник»; б) Сейсмічність регіону (крива сірого кольору) та варіації магнітної індукції магнітного поля Землі (крива чорного кольору) в червні 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин.

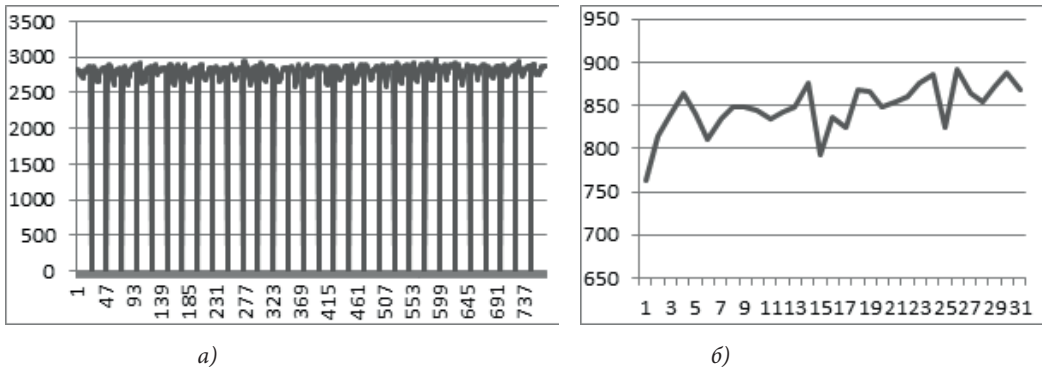


Рис.1.13. а) Вектор магнітної індукції магнітного поля Землі за липень 2020 року на РГС «Тросник» (щогодинні спостереження); б) Вектор магнітної індукції магнітного поля Землі за липень 2020 року на РГС «Тросник» (середньодобові значення).

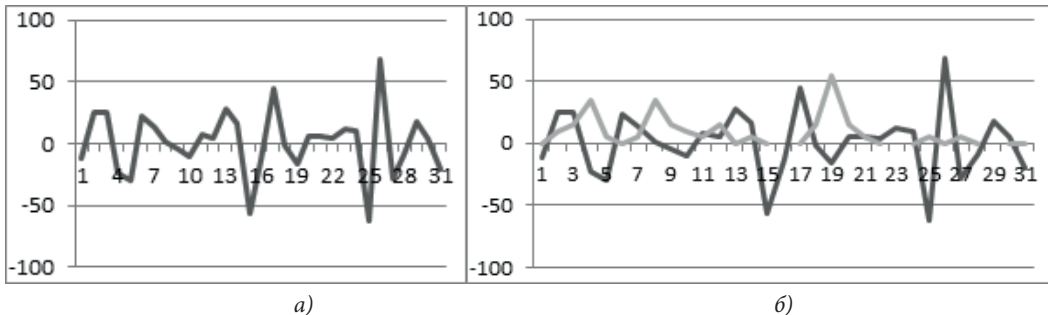


Рис.1.14.а) Швидкість зміни вектора магнітної індукції магнітного поля Землі за липень 2020 року на РГС «Тросник»; б) Сейсмічність регіону (крива сірого кольору) та зміни вектора магнітної індукції (крива чорного кольору) в липні 2020 року на РГС «Тросник».

Аналіз кінематичних характеристик геофізичних полів виявив збільшення періодів коливання спостережуваних параметрів, зокрема швидкості зміни магнітного поля Землі, зазначено: 3–7 діб періодичність коливання швидкості зміни магнітного поля Землі. В липні 2020 року на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 51 місцевий землетрус (рисунок 1.14. б). Аналіз зв'язку геофізичних полів за липень 2020 року вказав на особливість: максимуми кривих зміщені на 2–3 доби, варіації магнітного поля передують сейсмічній активізації регіону. В серпні 2020 року вектор магнітної індукції змінився на РГС «Тросник» на -10 нТл (рисунок 1.15. а, б).

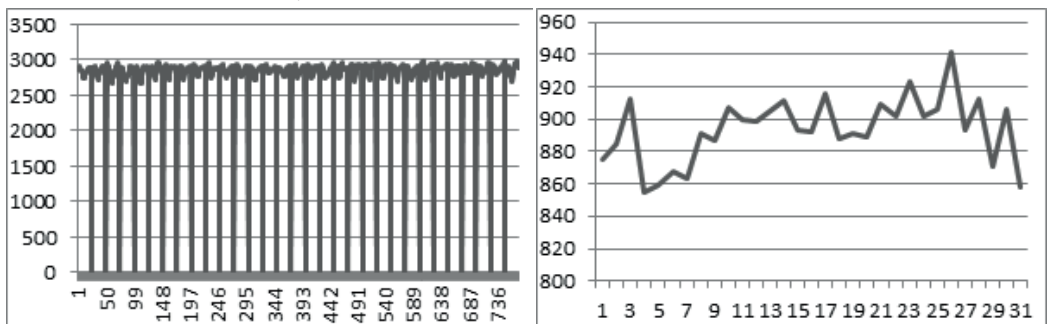
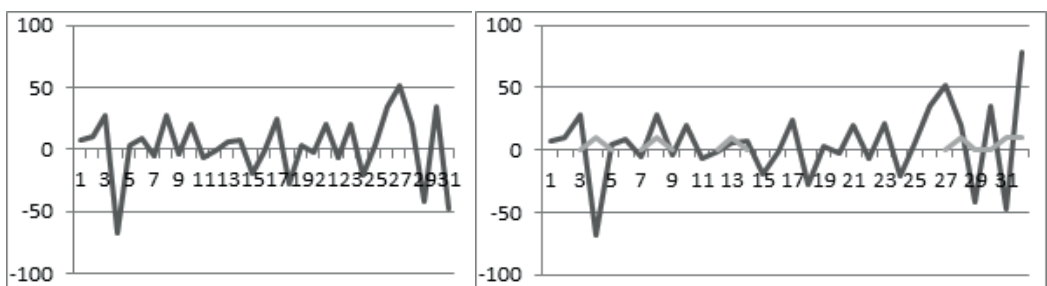


Рис. 1.15. а) Зміна вектора магнітної індукції на РГС «Тросник» за серпень 2020 року (щогодинні спостереження); б) Зміна вектора магнітної індукції на РГС «Тросник» за серпень 2020 року (щоденні спостереження).

Розраховано динаміку магнітного поля Землі за серпень 2020 року (рисунок 1.16. а).



а)

б)

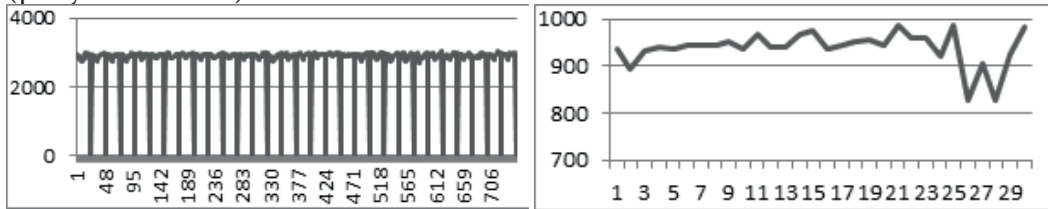
Рисунок 1.16. а) Швидкість зміни вектора магнітної індукції магнітного поля Землі за серпень 2020 року. РГС «Тросник»; б) Сейсмічність регіону (крива сірого кольору) та варіації магнітного поля Землі (крива чорного кольору) в серпні 2020 року. РГС «Тросник».

На початку місяця та в останній тиждень місяця магнітне поле зазнає найбільш змін. В серпні 2020 року на території Закарпатського внутрішнього

прогину зареєстровано 6 землетрусів (рисунок 1.16. б). В цей період (серпень 2020 року) підтверджується зв'язок інтервалів інтенсивних змін магнітного поля Землі та місцевої сейсмічності: землетруси реєструються в інтервалах аномальних змін магнітного поля. У вересні 2020 року на РГС «Тросник» магнітне поле змінилося на +126 нТл (рисунок 1.17. а, б).

Вектор магнітної індукції має періоди зміни -1 доба. Магнітне поле Землі на РГС «Тросник» у вересні 2020 року має аномалію в кінці місяця (рисунок 1.18. а).

Аномалія магнітного поля в кінці місяця становить 177 нТл. У вересні 2020 року на території Закарпаття зареєстровано 12 землетрусів (рисунок 1.18. б).



а)

б)

Рис.1.17.а) Магнітне поле Землі на РГС «Тросник» за вересень 2020 року:
а) результати щогодинних спостережень; б) середньодобові величини вектора
магнітної індукції магнітного поля Землі.

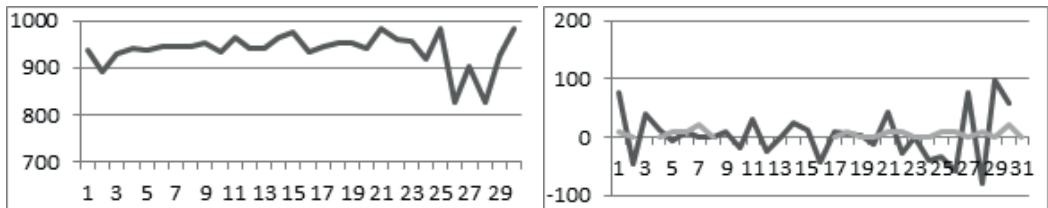


Рис.1.18. а) Динаміка зміни магнітного поля в вересні 2020 року на РГС «Тросник»;
б) Динаміка магнітного поля (крива чорного кольору) та місцева сейсмічність
(крива сірого кольору) у вересні 2020 року на РГС «Тросник».

Активізація місцевої сейсмічності та зміни магнітного поля відбуваються в однакових часових інтервалах, зокрема під час аномальних змін величини вектора магнітної індукції наприкінці місяця. В жовтні 2020 року спостережуване магнітне поле Землі, виміряне на РГС «Тросник» представлено на рисунку 1.19. а, б.

Магнітна індукція підвищилася на 19 нТл, в третій декаді місяця зафіксовано інтенсивні зміни вектора магнітної індукції. Розраховано швидкість зміни вектора магнітної індукції магнітного поля в жовтні 2020 року (рисунок 1.20. а).

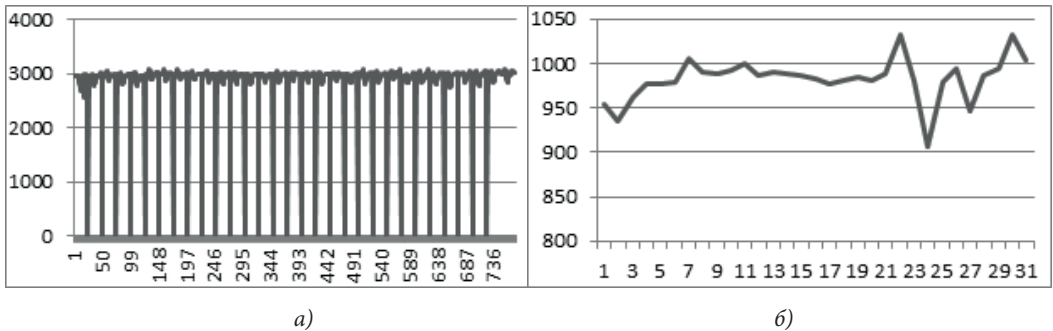


Рис. 1.19. Магнітна індукція на РГС «Тросник» в жовтні 2020 року:
а) результати щогодинних спостережень; б) середньодобові величини вектора
магнітної індукції магнітного поля Землі.

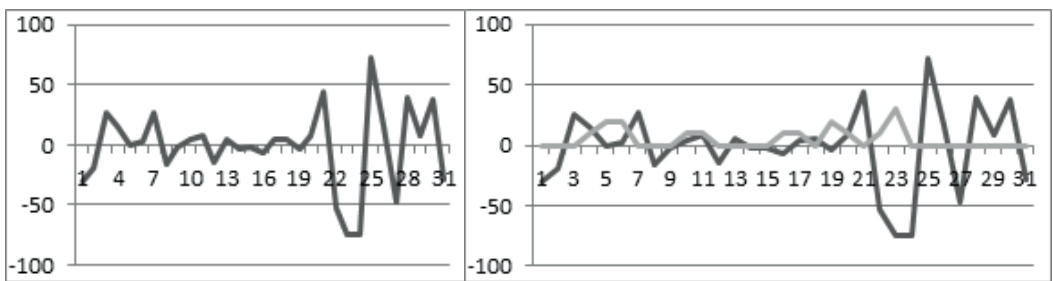


Рис.1.20. а) Швидкість зміни вектора магнітної індукції магнітного
поля Землі в жовтні 2020 року. РГС «Тросник»; б) Варіації магнітної
індукції магнітного поля Землі (крива чорного кольору) та
сейсмічність регіону (крива сірого кольору) в жовтні 2020 року.
Закарпатський внутрішній прогин. РГС «Тросник».

В жовтні зазначено аномалії магнітного поля Землі виміряного на режимній геофізичній станції «Тросник»: на початку місяця величиною 25 нТл. В третій декаді місяця аномалії зросли: амплітуда коливання вектора магнітної індукції становить 65 нТл. В жовтні 2020 року на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 14 землетрусів (рисунок 1.20. б). На початку місяця аномалії магнітного поля та сейсмічності регіону співпадають. В кінці місяця суттєві аномалії – 75 нТл, в інтервалі, що знаходиться після періоду серії місцевих землетрусів, які в свою чергу можуть вплинути на характер магнітного поля Землі. В листопаді 2020 року варіації параметрів магнітного поля в точці спостереження представлено на рисунку 1.21. а, б.

Спостерігається суттєва аномалія магнітного поля в третій декаді листопада 2020 року, розраховано швидкість зміни магнітного поля Землі (рисунок 1.22. а).

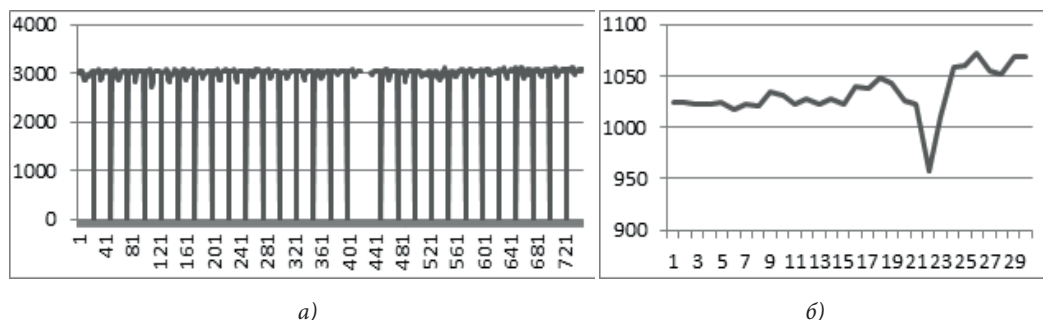


Рис.1.21. Магнітне поле в листопаді 2020 року на РГС «Тросник»: а) результати щогодинних спостережень; б) середньодобові величини вектора магнітної індукції магнітного поля Землі.

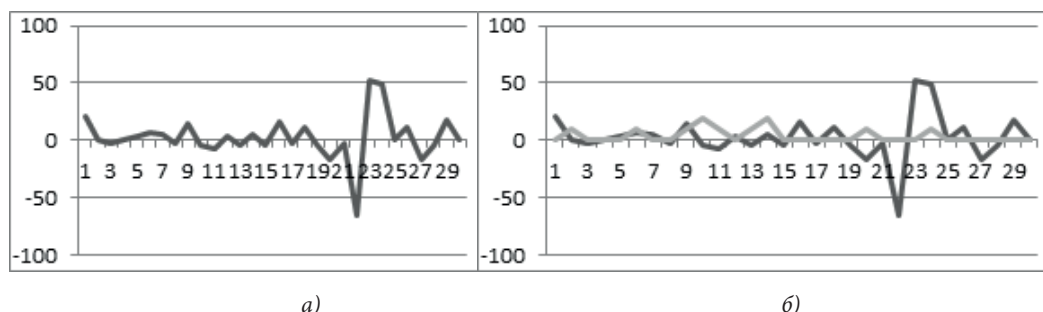


Рис.1.22. а) Швидкість зміни магнітного поля Землі в листопаді виміряні на РГС «Тросник»; б) Сейсмічність регіону в листопаді 2020 року (крива сірого кольору) та варіації вектора магнітної індукції магнітного поля Землі (крива чорного кольору). Закарпатський внутрішній прогин.

В листопаді 2020 року на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 11 місцевих землетрусів (рисунок 1.22. б). Зазначено особливість зв'язку сейсмічності та зміни магнітного поля Землі: землетруси проходять в інтервалах зменшення магнітного поля Землі. На рисунку 1.23 представлено часовий розподіл вектора магнітної індукції магнітного поля Землі на РГС «Тросник» за 2020 рік.

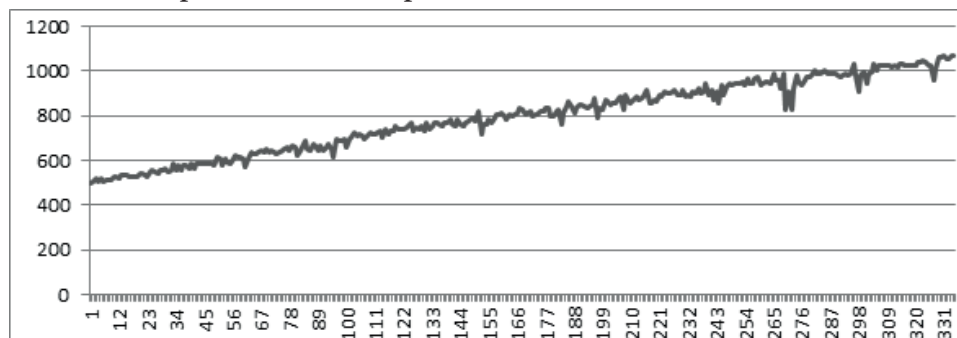


Рис. 1.23. Варіації вектора магнітної індукції магнітного поля Землі на РГС «Тросник» за 2020 рік.

Вказано інтервали аномальних змін вектора магнітного поля Землі: квітень, червень–липень, вересень–листопад 2020 року. Розраховано швидкість зміни вектора магнітної індукції магнітного поля за 2020 рік (рисунок 1.24).

Проведено вивчення питання взаємозв'язку геофізичних полів на основі просторово-часового розподілу сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину в місячному діапазоні, змін магнітного поля Землі в місячному діапазоні (рисунок 1.25).

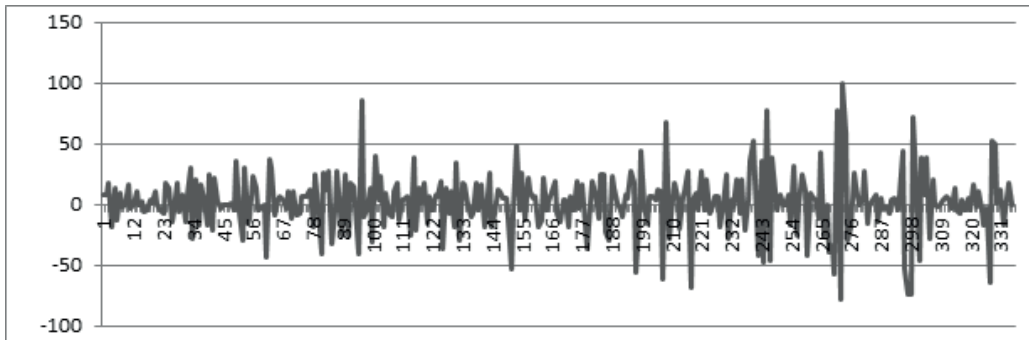


Рис.1.24. Швидкість зміни вектора магнітної індукції виміряні на РГС «Тросник» в 2020 року.

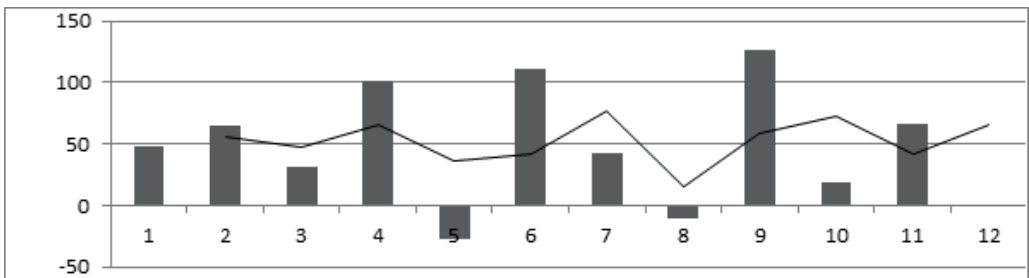


Рис.1.25. Варіації магнітного поля Землі на РГС «Тросник» в 2020 року (середньомісячні величини вектора магнітної індукції).

Представлено розподіл місцевої сейсмічності та магнітне поле Землі (рисунок 1.25.6). Розраховано динамічний стан магнітного поля Землі та сейсмічний стан регіону за 2020 рік.

2. Зв'язок гідрогеологічного стану регіону із геодинамічним станом Закарпатського внутрішнього прогину.

Важливий етап комплексних геофізичних спостережень в сейсмотектонічних регіонах екологічно небезпечних територій є вивчення факторів, що

супроводжують геологічні процеси: варіації параметрів метеорологічного та гідрогеологічного стану. Проведено аналіз місцевої сейсмічності та параметрів гідрогеологічного стану за 2021 рік, що важливо для розуміння взаємозв'язків геофізичних полів в умовах підготовки та протікання місцевих землетрусів. Для вирішення поставлених задач було використано результати режимних геофізичних спостережень на режимній геофізичній станції «Тросник» в 2021 році. Атмосферні опади вимірюються опадоміром Третьяковського, що встановлений на РГС «Тросник» (вимірювання проводилися декілька раз в добу). Сейсмічний стан регіону контролюється сучасними сейсмічними цифровими станціями DAS-05, які розміщені на всіх як геофізичних та сейсмічних пунктах спостережень. Методика спостережень та інтерпретації результатів спостережень полягає в аналізі сейсмічного стану та його динаміки, часового розподілу та динаміки величини параметрів гідрогеологічного стану точки спостережень. Аналіз проводився в місячному діапазоні, оскільки за результатами довгоперіодних вимірювань фізичних величин відмічено ефективність таких інтерпретацій для правильного формулювання отриманої інформації. Показано комплексний графік просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та атмосферних опадів за лютий 2021 року (рисунок 2.1).

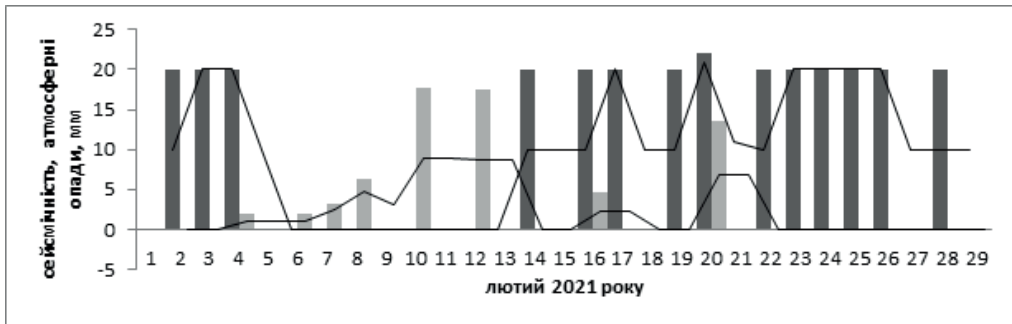


Рис.2.1. Атмосферні опади (діаграма сірого кольору), сейсмічна активність регіону (діаграма чорного кольору) за лютий 2021 року. РГС «Тросник».

Сейсмічній активізації регіону передували інтенсивні атмосферні опади в регіоні. Атмосферні опади створювали додатковий тиск на поверхню земної кори, чим може прискорити динаміку геомеханічних рухів. В березні в регіоні зареєстровано 14 місцевих землетрусів, показано просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності та розподіл атмосферних опадів, проаналізовано ряди спостережень на предмет виявлення взаємозв'язків геофізичних полів (рисунок 2.2).

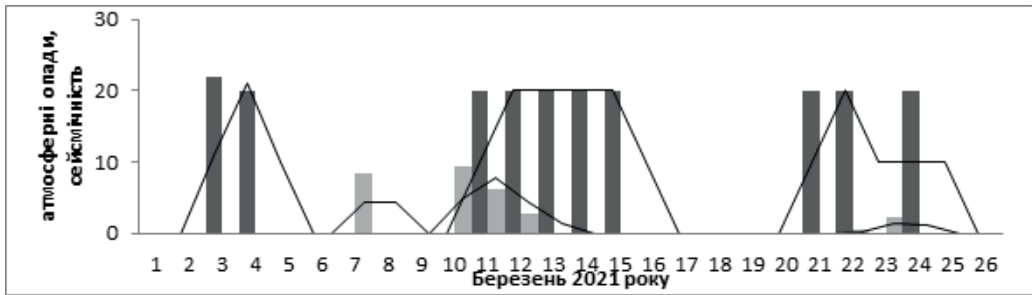


Рис.2.2. Сейсмічність регіону (діаграма чорного кольору), атмосферні опади (крива сірого кольору). Березень 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин.

В березні сейсмічність регіону супроводжувала період атмосферних опадів, що тривав декілька днів. В кінці місяця опади припадають на інтервал підвищеної сейсмічності в регіоні. За представлений період (квітень-травень 2020 року) відмічено три періоди сейсмічної активізації, що знаходяться в часовому інтервалі атмосферних опадів (рисунок 2.3).

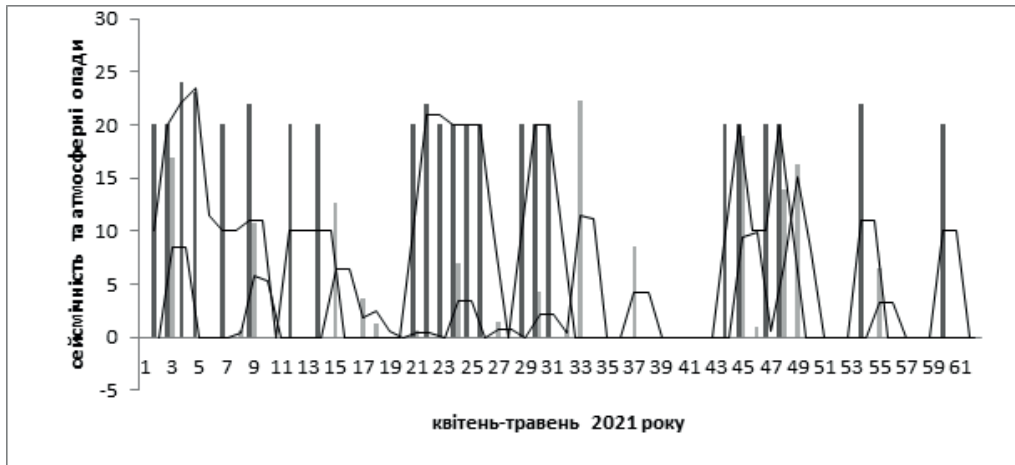


Рис. 2.3. Атмосферні опади (діаграма сірого кольору), сейсмічність регіону (діаграма чорного кольору). Квітень-травень 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Червень–липень 2021 року. Підвищені величини атмосферних опадів відмічені в інтервалах сейсмічних активізацій регіону (рисунок 2.4).

Наявність атмосферних опадів супроводжується підвищеною частотою прояву місцевої сейсмічності (кінець червня-початок липня). **Серпень–вересень 2021 року.** Сейсмічна активність на початку місяця та відмічено атмосферні опади в цей період (рисунок 2.5).

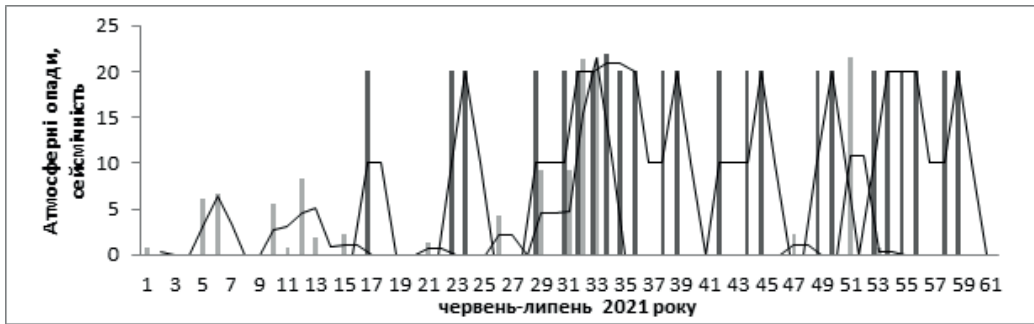


Рис.2.4. Атмосферні опади (крива сірого кольору), сейсмічність (діаграма чорного кольору). Червень-липень 2021 року.

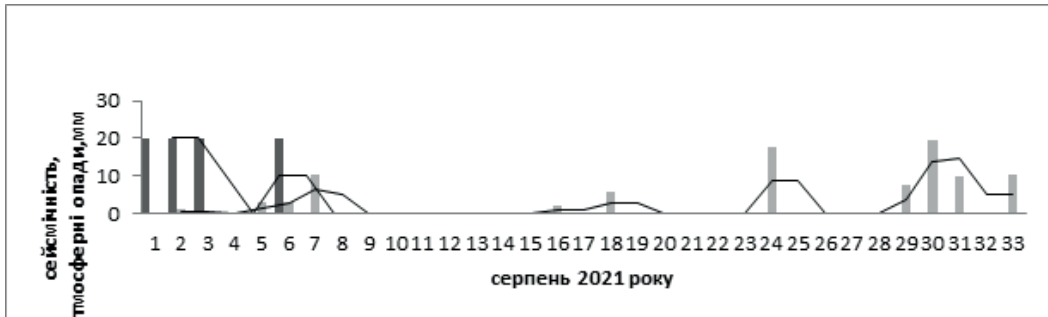


Рис.2.5. Сейсмічність регіону (діаграма чорного кольору), атмосферні опади (діаграма сірого кольору). Закарпатський внутрішній прогин. Серпень 2021 року.

Зазначено кореляцію інтервалів підвищення сейсмічної активізації із періодами інтенсивних опадів в регіоні, що також відмічалось і в інших ста-
нах сейсмотектонічної активності на території Закарпатського внутрішнього
прогину. Аналіз всього періоду дослідження представлено на рисунку 2.6.



Рис.2.6. Атмосферні опади (діаграма синього кольору), сейсмічність регіону (діаграма червоного кольору). Січень – листопад 2021 року.
Закарпатський внутрішній прогин.

Представлений вище комплексний графік залежності атмосферних опадів та просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності за досліджуваний інтервал часу (січень–листопад 2021 року) наочно підтверджує припущення про гідрологічний аспект місцевих сейсмотектонічних процесів. Періодичність реєстрації місцевих землетрусів та часовий розподіл атмосферних опадів корелюється. Групи зареєстрованих землетрусів у часовому аспекті співпадають із періодами атмосферних опадів, причому гідрологічна компонента передує сейсмічній компоненті. Таким чином, проведені дослідження зв'язку сейсмотектонічних процесів та факторів впливу на розрядку напружено-деформованого стану порід показали важливість отриманих результатів для вирішення майбутнього прогнозування геологічних процесів і тим вирішення екологічних проблем. Для встановлення зв'язку в довгостроковій перспективі побудовано просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності та часову залежність атмосферних опадів в діапазоні місячних величин (місячних атмосферних опадів та місячної сейсмічної активності) (рисунок 2.7).

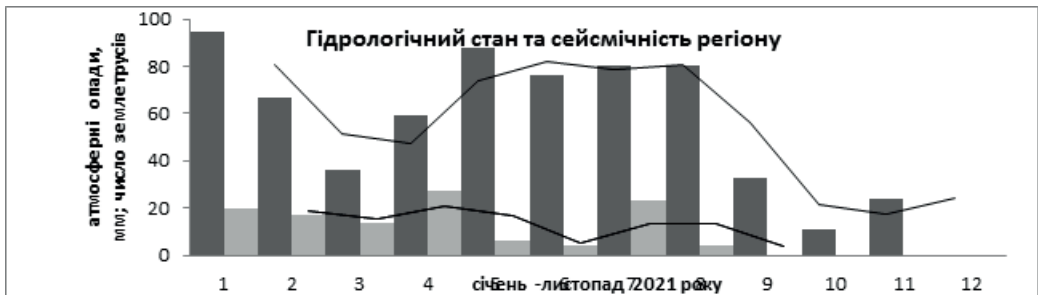


Рис. 2.7 Атмосферні опади (діаграма чорного кольору) та місцева сейсмічність (діаграма сірого кольору) в 2021 році. Закарпатський внутрішній прогин.

Представлені вище залежності параметрів геофізичних полів показали високий ступінь зв'язку, що пояснюється фізичними процесами. Атмосферні опади пов'язані із процесами земної кори, зокрема швидкими рухами кори – землетрусами. Очевидно, інтенсивні опади змінюють умови геомеханічної рівноваги, підвищуючи тиск на поверхню земної кори та розряджаючи енергію деформованого стану порід. Таким чином, можна припустити що сейсмічність корелюється із величинами атмосферних опадів. Проведено розрахунок динаміки зміни партерів геофізичних полів-швидкості атмосферних опадів та їх зв'язок із сейсмічністю регіону за 2021 рік (рисунок 2.8).

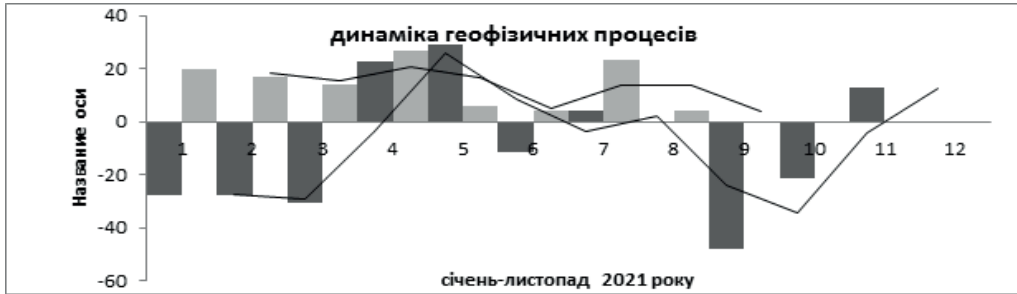


Рис.2.8. Зміна атмосферних опадів з часом (діаграма чорного кольору) та місцева сейсмічність (діаграма сірого кольору). Закарпатський внутрішній прогин. 2021 рік.

Сейсмічна активність зв'язана з динамікою атмосферних опадів, нерівномірність опадів пов'язана з частотою прояву місцевої сейсмічності. Важливим аспектом досліджень геофізичних полів в період прояву відчутних місцевих землетрусів, зокрема місцевого землетрусу, який відбувся біля с. Фанчикова Берегівського району Закарпатської області 27 жовтня 2021 року, інтенсивністю 5 балів (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9. Сейсмічність регіону (діаграма червоного кольору) та атмосферні опади (діаграма червоного кольору) за жовтень 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Протягом тижневого періоду інтенсивні опади супроводжуються відчутною місцевою сейсмічністю. Отже, підтверджуються факти гідрологічного аспекту сейсмотектонічного процесу в сейсмонебезпечних регіонах. Тривалість періоду між інтенсивними опадами та сейсмічною активізацією 5–15 діб, в залежності від динаміки атмосферних опадів та їх кількості, напружено-деформованим станом гірських порід в сейсмогенеруючих регіонах.