

**KAPITEL 10 / CHAPTER 10¹⁰**
HYDROGEOLOGICAL INDICATORS OF STRESS-DEFORMED STATE OF SEISMOGENERATING REGION**DOI: 10.30890/2709-2313.2022-10-02-014****Вступ**

Актуальність дослідження геофізичних процесів та гідрогеологічного стану Закарпатського внутрішнього прогину викликана насамперед сейсмонебезпечністю досліджуваного регіону. Необхідно відмітити, що на території Закарпаття, яке охоплює цей прогин, щорічно реєструються десятки землетрусів різного енергетичного класу в тому числі декілька сильніших відчутних підземних поштовхів. Спостерігається певна періодичність сейсмічної активізації в Закарпатському внутрішньому прогині, яка супроводжується періодами сейсмічного затишшя тривалістю декілька років. Тому важливо вивчати сейсмічний стан регіону, проводити моніторинг геофізичних полів в періоди аномальних сучасних горизонтальних рухів кори. Дослідження параметрів геофізичних полів: магнітного поля, електромагнітної емісії, радіоактивного фону, вивчення варіацій параметрів гідрогеологічного та метеорологічного стану в минулі періоди відмітили певні аспекти сеймотектонічних процесів в регіоні. В періоди сейсмічної активізації регіону було відмічено аномальні зміни геофізичних полів, зокрема інтенсивні метеорологічні процеси- високі показники атмосферних опадів супроводжувалися підвищеними фізичними величинами геомеханічних процесів, що спостерігали у верхніх шарах земної кори. Рухи кори, виміряні на пунктах деформометричних спостережень в зоні Оашського глибинного розлому в періоди інтенсивних атмосферних опадів, характерні швидкими змінами кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів кори. Ці процеси супроводжувалися акумуляцією енергії пружно-деформованого стану регіону, яка при певних геофізичних умовах переходила в розрядку через реєстрацію місцевих землетрусів. Важливе місце в дослідженнях геофізичних процесів в сейсмонебезпечних регіонах займає вивчення впливу геомеханічних процесів на гідрогеологічні параметри: на рівень води в свердловинах різної глибини. Зауважено взаємозв'язок сучасних горизонтальних рухів кори виміряних на пункті деформометричних спостережень „Королеве” та варіацій рівня води в свердловинах глибиною 8м та 530 м, які знаходяться на режимній геофізичній станції „Тросник”. Названі вище геофізичні пункти відносяться до мережі Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім..С.І. Субботіна НАН України. Отримані в попередні роки спостережень гідрогеологічного стану та показників геодинаміки регіону вказують на можливість застосування результатів варіацій рівня води в свердловині глибиною 8 м для оцінки

¹⁰ Authors: *Ignatyshyn Adalbert Vasyliovych, Ignatyshyn Monika Beylivna, Ignatyshyn Vasyl Vasyliovych, Izhak Tibor Yosypovych*



знакозмісних процесів верхніх шарів земної кори. Параметри гідрогеологічного стану регіону та сучасних горизонтальних рухів кори виміряних в зоні Оашського глибинного розлому корелюють між собою (стиснення порід супроводжується підняттям рівня води в неглибокій свердловині і навпаки: розширення порід земної кори співпадає з часом із пониженням рівня води в свердловині. Глибока свердловина (глибина 530 м) реагує на вікові загальні ходи деформацій в регіоні. Таким чином, вивчення зміни гідрогеологічного стану регіону розширює можливості дослідження геодинаміки регіону, зокрема в тій місцевості, де немає засобів вимірювання рухів кори як горизонтального так і вертикального спрямування. Відомий факти зв'язку геодинамічного стану регіону із проявами сейсмотектонічних процесів, зокрема реєстрацією місцевих землетрусів, в основному відчутних. Важливо продовження проведення спостереження геофізичних параметрів, дослідження їх взаємозв'язків для майбутнього прогнозування сейсмічного стану Закарпатського внутрішнього прогину.

На території Закарпаття функціонують пункти геофізичних, сейсмологічних та деформометричних спостережень Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

10.1. Сучасний стан геофізичних, гідрогеологічних та геодинамічних спостережень.

Сучасні геофізичні, гідрогеологічні та геодинамічні спостереження в сейсмонебезпечних регіонах приводять до важливих висновків про будову земної кори, перебіг геодинамічних процесів та їх вплив на екологічний стан регіону. Представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень геодинаміки окремих регіонів, зокрема Закарпатського внутрішнього прогину. Сейсмічні процеси складні й різноманітні, їх формування зумовлене складними, різноманітними геолого-геофізичними процесами, що відбуваються в надрах Землі, і характеризуються великою кількістю різних параметрів. Сучасні моделі сейсмічності й теорії, що пояснюють виникнення землетрусів, базуються на непрямих даних, переважно на сейсмічних спостереженнях. Основною метою геофізичних досліджень є розв'язання оберненої задачі. Картина макросейсмічного поля є відображенням впливу різних факторів і локальних геологічних особливостей на прояв сейсмічного ефекту в точках земної поверхні [1]. Представлено термогідродинамічну профільну модель вертикального розрізу геологічного середовища підземних вод з урахуванням глибинних активних геодинамічних зон. Підтверджено наявність моделі зони дилатансії, яка характеризується розгалуженням тріщин геологічного середовища, де відбуваються стрибкоподібний процес розрядження напружено-деформованого стану порід зі зменшенням глибини, зниження тиску висхідних флюїдів та їх поетапна дегазація. Активізація



флюїдних потоків про участь флюїдів у формуванні зони дилатансії.[2]. Представлено зони сучасної активізації на території, виділено 12 зон у межах близько половини території України, зокрема Карпатський регіон з альпійською складчастістю, інші розміщуються в структурах платформи різного віку — від докембрійського до посткімерійського. За наведений період досліджень ступінь геотермічної і геоелектричної вивченості території України багаторазово збільшився, істотно доповнені дані щодо ізотопії гелію, з'явилися інші геолого-геофізичні дані[3]. Показано приклад використання нейромережевого моделювання в задачі локалізації вогнищ землетрусів території України, проведене моделювання задачі локалізації дозволяє конструювати вогнища сейсмічних подій в промислових регіонах України, що підтверджується глобальними годографом Джеффра-Буллена. Локалізації землетрусів дають додаткові можливості аналізу особливостей будови літосфери, та оцінки в умовах реального часу характеристик сейсмічного процесу в завдання його попередження[4]. Обґрунтовано необхідність застосування геоінформаційних систем (ГІС) і представлено модель оцінки приросту інформації, яку можна отримати в процесі впровадження ГІС в ландшафтно-екологічний моніторинг (ЛЕМ), представлена модель дозволить зменшити ентропію (невизначеність) системи майже вдвічі, що свідчить про необхідність використання ГІС при ландшафтно-екологічному моніторингу [5]. Актуальним є питання вирішення еколого-геологічних проблем, які виникають у результаті відпрацювання природних ресурсів. Для достовірної оцінки напружено-деформованого стану гірських порід і відповідно для прогнозування карстових процесів і деформацій, пов'язаних із наявністю видобувних камер і розвитком карсту, застосовано метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), показано результати профільних та площинних досліджень у межах калійного родовища солі, які свідчать про ефективність методу ПЕМПЗ для вирішення еколого-геологічних задач[6]. Представлено результати інтерпретації експериментальних даних (деформаційних, геоакустичних і параметрів вогнища землетрусу) і встановлення їхнього зв'язку із сейсмічністю Закарпатського регіону з використанням статистичного (регресійного) аналізу. Статистичну модель сейсмічності побудовано для того, щоб проаналізувати різні геофізичні параметри і за допомогою регресійного аналізу встановити їхній взаємозв'язок між собою, який дасть можливість зрозуміти, яким чином сейсмічність впливає на зміну тих чи інших параметрів середовища Закарпатського регіону та дасть змогу побудувати діючу модель сейсмічності Закарпатського регіону[7]. Показано результати моніторингу деформацій земної поверхні території Закарпаття, виконаного за допомогою методу радарної інтерферометрії, який дозволяє здійснювати моніторинг зміщень земної поверхні в режимі реального часу і отримувати актуальні дані. На основі проведених досліджень Карпатського модельного полігону було підтверджено, що використання даних інтерферометрії є ефективним для аналізу режиму та динаміки небезпечних геологічних процесів, зокрема для розвитку зсувів, можуть бути використані для прогнозування небезпечних геологічних процесів і мінімізації їхнього негативного впливу на природно-техногенні системи[8]. Викладено результати



дослідження еколого-гідрогеохімічного стану ґрунтових вод Закарпаття, удосконалено методику обробки вихідних гідрологічних даних на базі геоінформаційних технологій, створена спеціалізована геоінформаційна база даних хімічного складу ґрунтових вод, виконано районування та проведено оцінку сучасного гідрогеохімічного стану ресурсів ґрунтових вод території дослідження[9]. Викладено результати моделювання довгострокових змін водного стоку на річках Українських Карпат як перспективного джерела гідроенергетичного потенціалу, оцінки впливу клімату на водні ресурси. Розроблену схему апробовано на річках Карпатського регіону, порівняно з результатами, отриманими за допомогою чисельної моделі, показано, що використання воднобалансової моделі демонструє задовільні результати[10]. Показано, що створена за сучасними даними карта ізолоній має важливе практичне значення при розробленні стратегії раціонального використання й охорони водних ресурсів, плануванні та реалізації водогосподарських заходів водозабезпечення, оптимального регулювання річкового стоку, оцінюванні гідроенергетичного потенціалу річок [11]. Гідрологічні та геодинамічні аспекти екологічного стану Закарпатського внутрішнього прогину представлені за результатами моніторингових спостережень в сейсмонебезпечному регіоні. Відмічені особливості геодинамічного стану регіону викликані гідрологічними факторами, інтенсивні атмосферні опади викликають розширення порід, що відмічені на деформограмах, отриманих в штольні пункту деформометричних спостережень „Королеве”, [12]. Гідрологічний стан та сеймотектонічні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині за 2019 рік представлені в[13]. Показано варіації гідрологічних параметрів, зокрема атмосферних опадів, просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності, відмічено зв'язок метеорологічних параметрів із проявом геофізичних процесів. Гідрологічні аспекти сучасних горизонтальних рухів та сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину підтвердили результати багаторічних геофізичних та метеорологічних спостережень в періоди сейсмічної активності регіону[14]. Важливо відмітити, що гідрологічний моніторинг середовища дає можливість дослідження геодинамічного стану регіону та його зв'язків із сеймотектонічними процесами в сейсмонебезпечних регіонах, яким є Закарпаття.

10.2. Гідрологічний стан та геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину за 2020 року.

Проведено вимірювання рівня води в свердловинах на РГС „Тросник”, в 2020 році. Представлено варіації рівня води в свердловині глибиною 530 м (№831) та глибиною 8 м, які розташовані на відстані 6 м одна відносно одної. Як уже було відмічено в раніше виконаних дослідженнях рівень води реагує на сучасні рухи кори, атмосферні опади. Побудовано часовий розподіл рівня води в свердловинах в добовому та місячному діапазонах. Порівняно варіації рівня води в свердловинах та просторово-часових розподілів місцевої сейсмічності.



Вивчено зв'язок рівня води в свердловинах та динаміки сучасних рухів земної кори в регіоні, виміряних на деформометричних станціях регіону: розташованих на Берегівському горбогір'ї, в зоні Оашського глибинного розлому. В зоні Оашського глибинного розлому працює деформометр базою 24.5 м, азимутом 80°. Підсилення на 1мм запису на деформограмі відповідає зміщенню поверхні на 0.138 мкм. Деформація поверхні виміряна на деформометрі становить 5.63 нстр(нанострейн, $\times 10^{-9}$). Дослідження зв'язку рівня води в свердловинах та рухів кори відмітило кореляцію рядів спостереження.

Представлено зміну рівня води в глибокій свердловині від часу в місячному діапазоні за 2020 рік. Рівень води в свердловинах вимірюється в м. **Зміна рівня води в свердловині глибиною 8 м(РГС „Тросник,,).**

Січень 2020 року. Представлено варіацію рівня води в свердловині глибиною 8 м. Місячний хід зміни рівня води в свердловині за січень 2020 року становить :-16.5 см(рисунок 2.1). Стиснення порід викликає підняття рідини в свердловинах і навпаки, розширення порід – зниження рівня води в свердловині. Вивчення зв'язку рухів кори та варіацій рівня води в свердловинах відкриває можливості вивчення деформацій земної кори за допомогою свердловин, які є в наявності на території Закарпаття, замість унікальних та дорогих деформометричних та нахиломірних станцій.

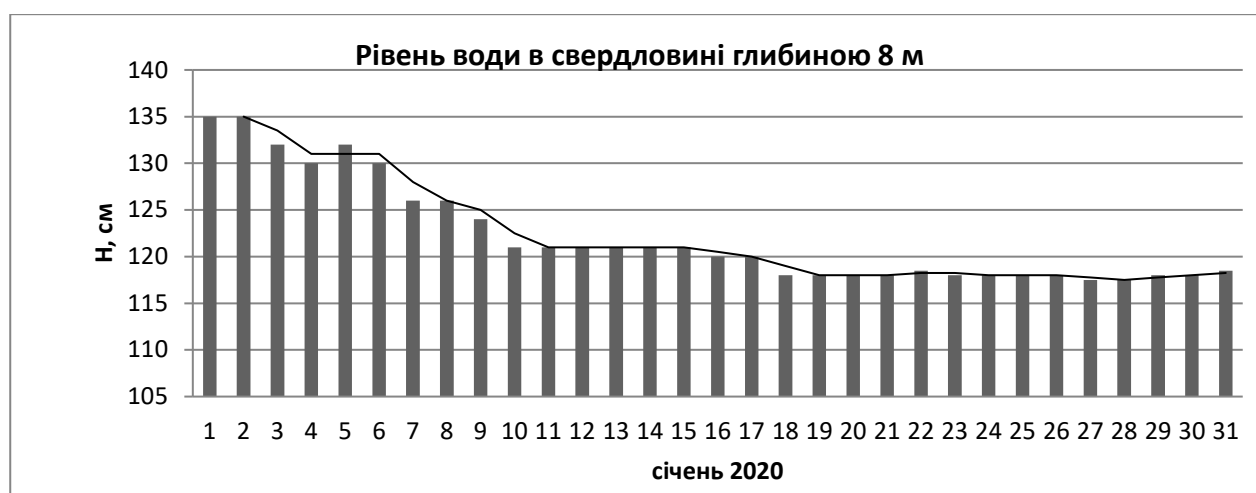


Рисунок 2.1. Рівень води в свердловині глибиною 8 м на РГС „Тросник,, в січні 2020 року.

За січень місяць 2020 року відмічено спад рівня води, ймовірно пов'язаний із розширенням порід. Сейсмічний стан регіону відмічений проявом місцевої сейсмічності, зареєстровано 10 підземних поштовхів на території Закарпатського внутрішнього прогину(рисунок 2.2). 23 січня 2020 року на території Виноградівського району зареєстровано відчутний місцевий землетрус, інтенсивністю 4.5 бали за сейсмічною шкалою. Проведено вивчення сейсмічності та рухів кори в січні 2020 року.



Рисунок 2.2. Рівень води в свердловині(діаграма чорного кольору)та місцева сейсмічність(діаграма сірого кольору) в січні 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Відмічається кореляція рівня води в свердловині та місцевої сейсмічності: зменшення рівня води супроводжується зменшенням частоти прояву місцевої сейсмічності. Зменшення рівня води-розширення порід, а землетруси реєструються в період стиснення порід.

Лютий 2020 року. За лютий місяць рівень води в свердловині виріс на 61 см(рисунок 2.3).

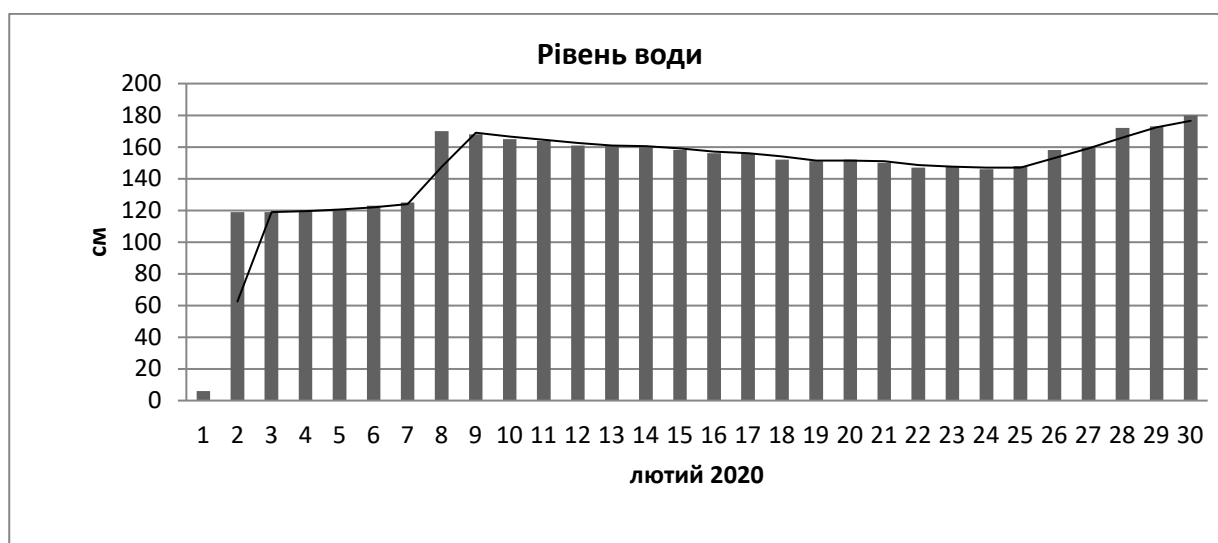


Рисунок 2.3. Зміни рівня води в свердловині глибиною 8 м на РГС „Тросник” в лютому 2020 року.

В лютому 2020 року в Закарпатському внутрішньому прогині зареєстровано 7 землетрусів, представлено комплексний графік варіацій рівня ґрунтових вод та місцевої сейсмічності(рисунок 2.4).

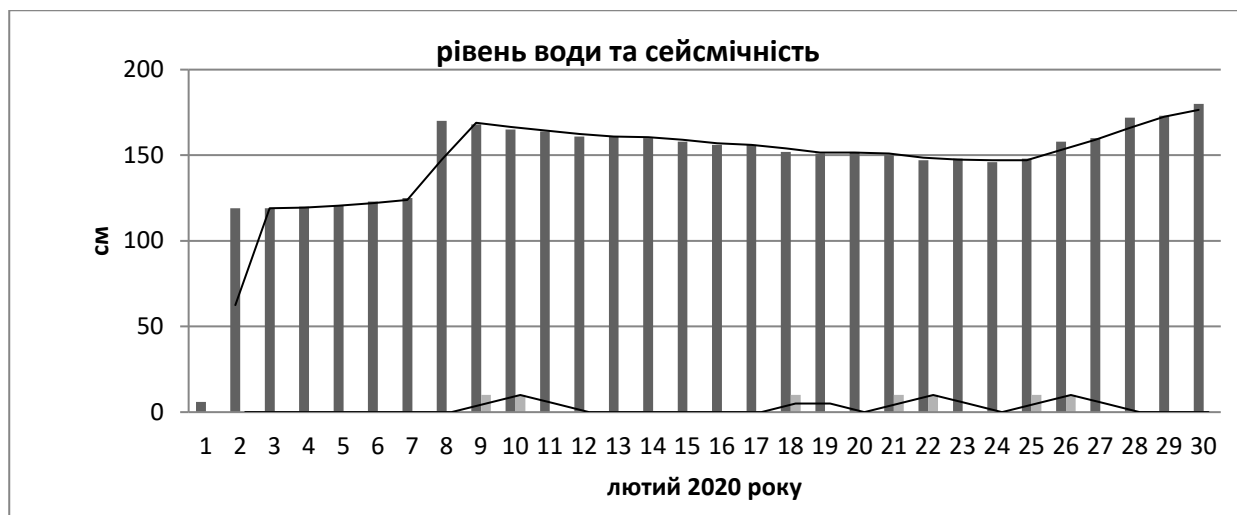


Рисунок 2.4. Рівень води в свердловині(діаграма чорного кольору) та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору) в лютому 2020 року в Закарпатському внутрішньому прогині.

Землетруси на початку місяця пройшли в інтервалі підняття рівня води в свердловині, стисненні порід. В кінці місяця серія землетрусів пройшла при розширенні та стисненні порід.

Березень 2020 року. Представлено зміну рівня води в свердловині за березень 2020 року(рисунок 2.5). Рівень води зменшився на 10 см за місячний період

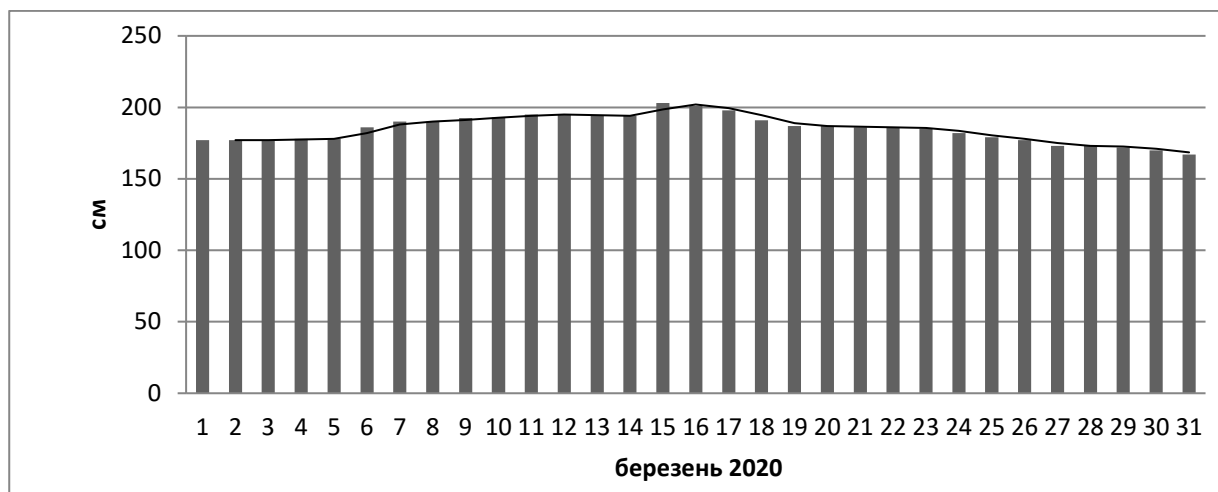


Рисунок 2.5. Рівень води в свердловині РГС „Тросник”в березні 2020 року.

В березні на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 10 місцевих землетрусів(рисунок 2.6).

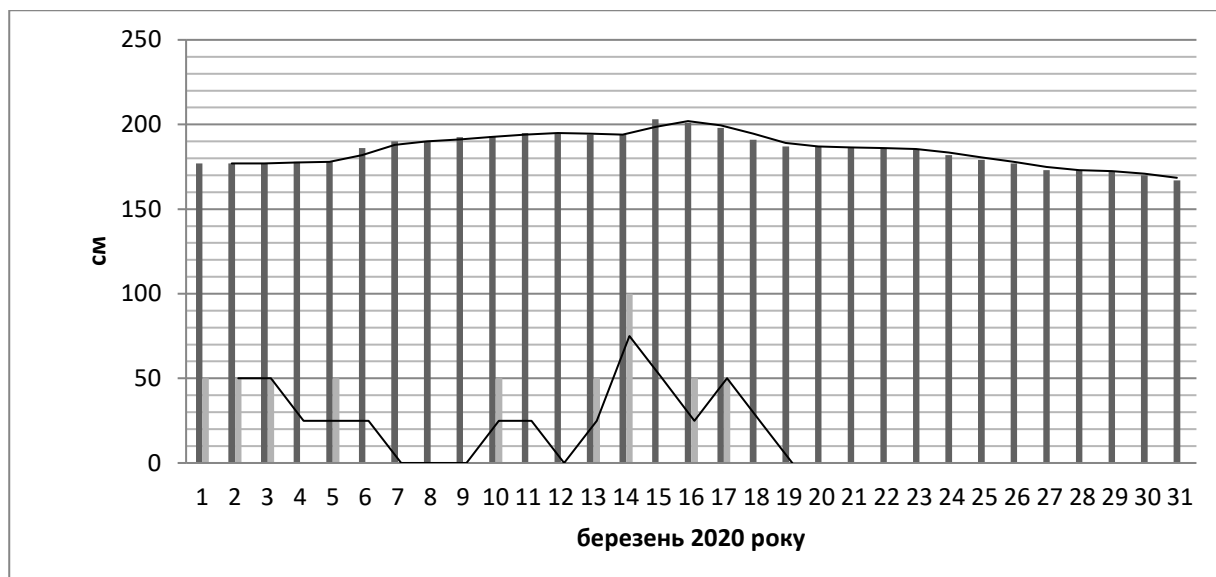


Рисунок 2.6. Рівень води в свердловині (діаграма чорного кольору)та місцева сейсмічність (діаграма сірого кольору) в березні 2020 року в Закарпатському внутрішньому прогині.

Максимальна розрядка напруженості припадає на середину місяця, що відповідає підняттю води в свердловині та стисненню порід.

Квітень 2020 року. Рівень води в свердловині за квітень 2020 року зменшився на 25 см(рисунок 2.7).

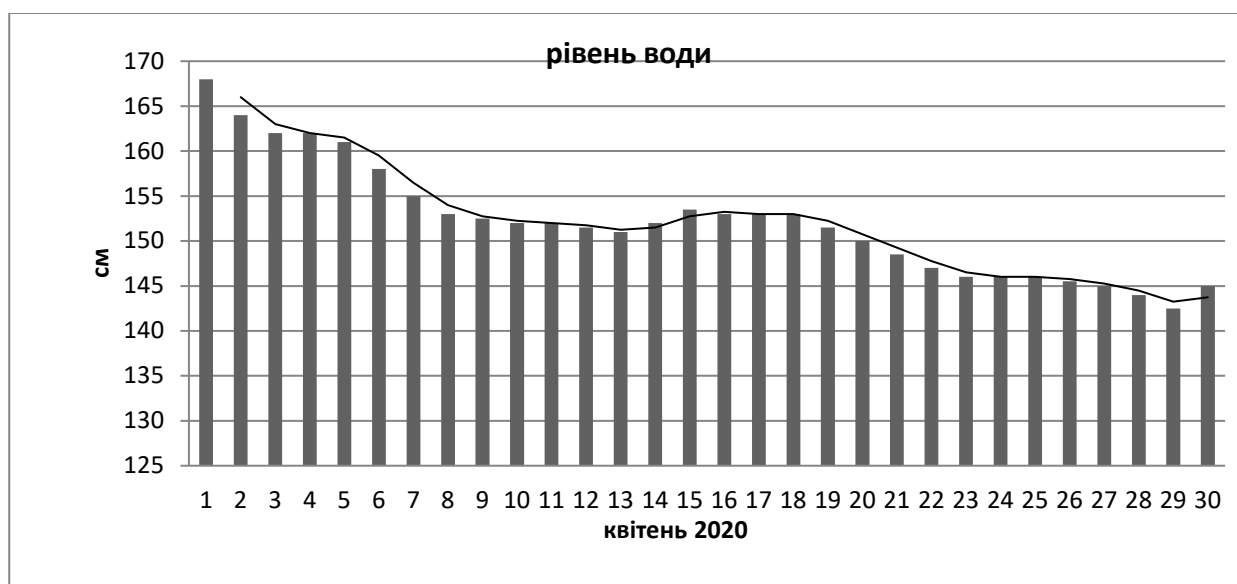


Рисунок 2.7. Рівень води в свердловині на РГС „Тросник” в квітні 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин.

В квітні на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 17 місцевих землетрусів(рисунок 2.8).

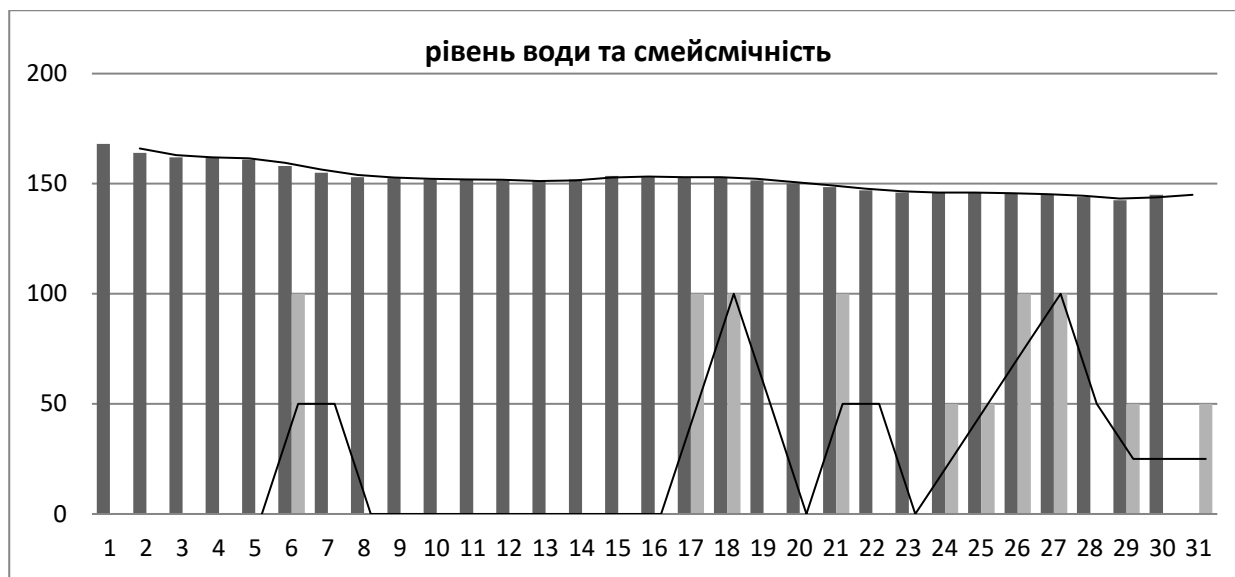


Рисунок 2.8. Рівень води в свердловині (діаграма чорного кольору) та сейсмічність регіону(діаграма сірого кольору) в квітні 2020 року в Закарпатському внутрішньому прогині.

Інтервали сейсмічності співпадають з періодами підняття рівня води в свердловині, ймовірно викликане стисненнями порід.

Травень 2020 року. Місячний хід рівня води в свердловині становить +3.5 см(рисунок 2.9).

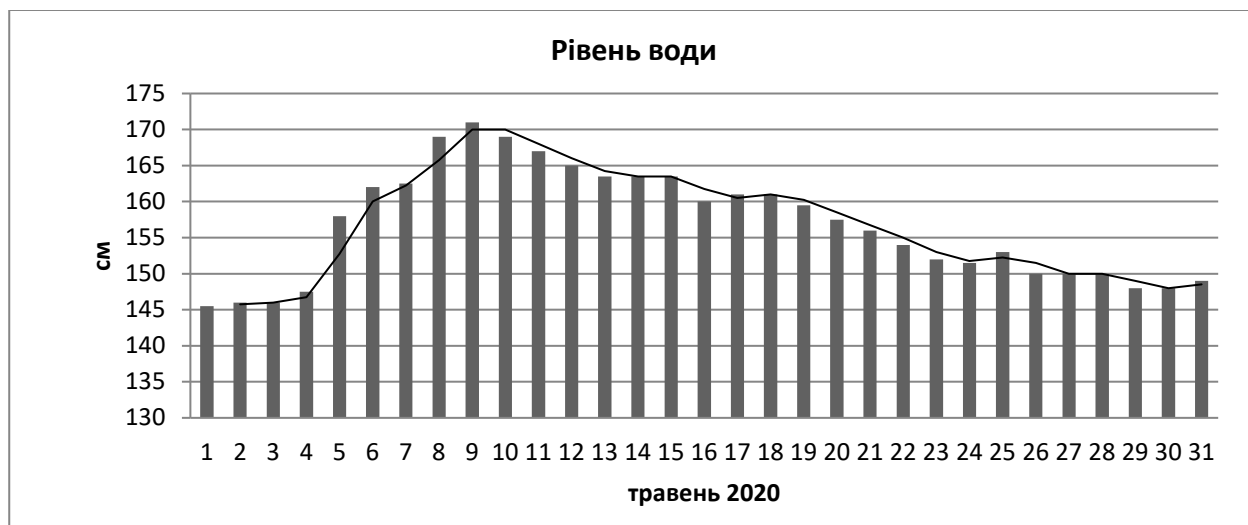


Рисунок 2.9. Рівень води в свердловині глибиною 8 м на РГС „Тросник” в травні 2020 року.

В травні 2020 року на Закарпатському внутрішньому прогині зареєстровано 20 місцевих землетрусів(рисунок 2.10).

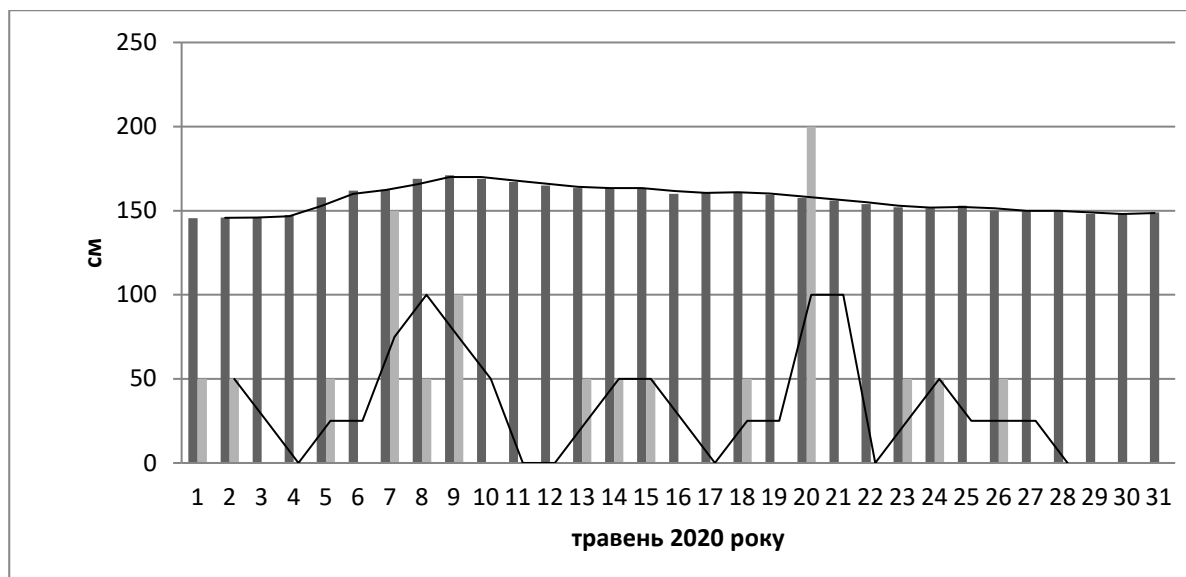


Рисунок 2.10. Варіації рівня води в свердловині(діаграма чорного кольору) сейсмічна активність регіону(діаграма сірого кольору) в травні 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Сейсмічність проявлена в період стиснення порід, що відмічено підняттям рівня води в свердловині.

Червень 2020 року. Рівень води в свердловині за червень 2020 року піднявся на 70 см(рисунок 2.11).

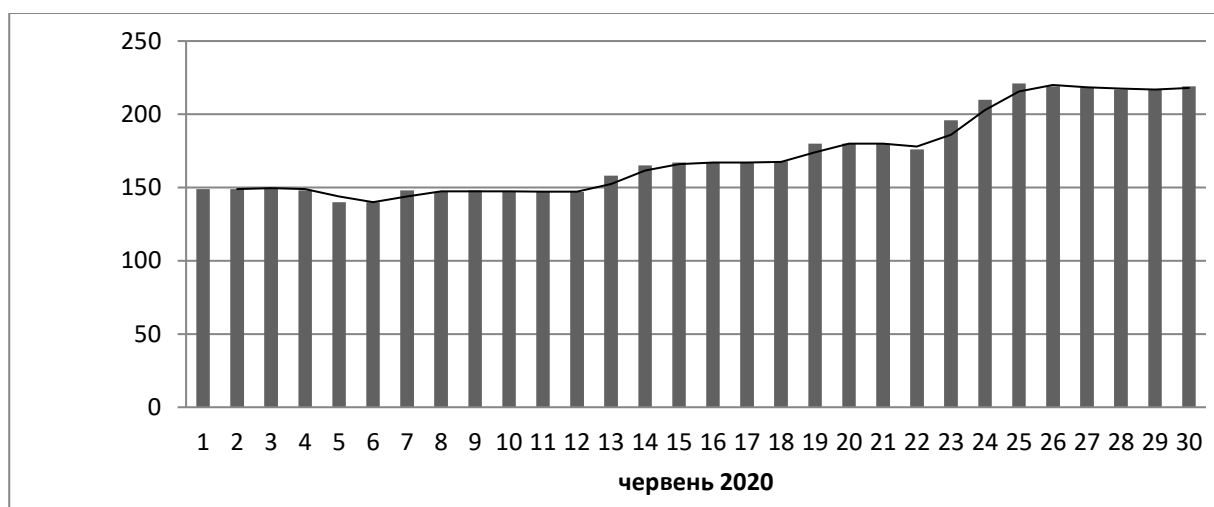


Рисунок 2.11. Рівень води в свердловині глибиною 8 м на РГС „Тросник” в червні 2020 року.

В червні 2020 року в Закарпатті відбулося 25 землетрусів (рисунок 2.12).

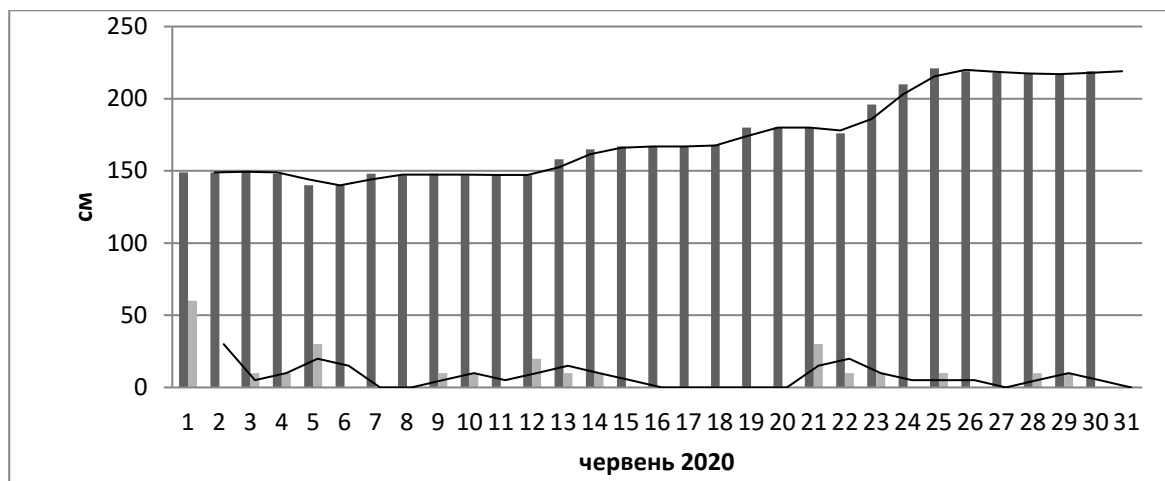


Рисунок 2.12. Рівень води в свердловині глибиною 8 м (діаграма чорного кольору) та місцева сейсмічність в Закарпатті (діаграма сірого кольору) в червні 2020 року.

Сейсмічність регіону відмічена в періоди стиснення порід, підвищення рівня води в свердловині в червні 2020 року. *Липень 2020 року.* Рівень води в свердловині в липні 2020 року зменшився на 95 см(рисунок 2.13).

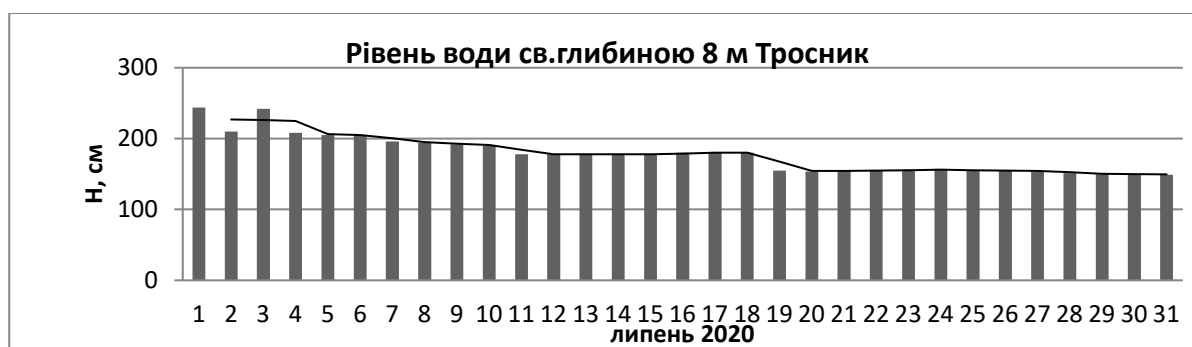


Рисунок 2.13. Рівень води в свердловині глибиною 8 м на РГС „Тросник” в липні 2020 року.

В цей період відбувся 51 місцевий землетрус(рисунок 2.14).

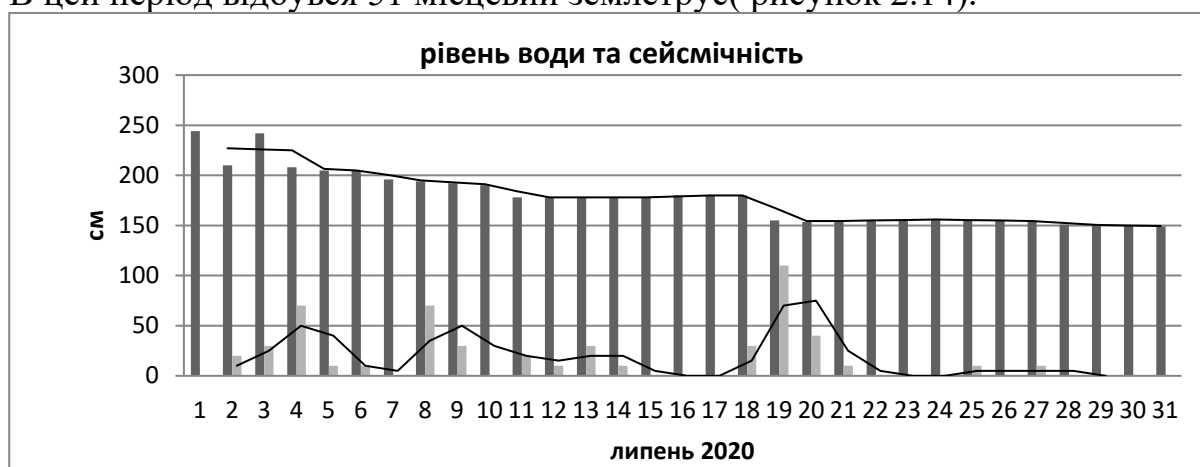


Рисунок 2.14. Рівень води в свердловині(крива чорного кольору) та місцева сейсмічність регіону(крива сірого кольору) за липень 2020 року. Закарпатська внутрішній прогин.



Розширення відмічені стисненнями порід. **Серпень 2020 року.** Рівень води в свердловині глибиною 8 м на РГС „Тросник” в серпні 2020 року (рисунок 2.15) знизився на 35 см..

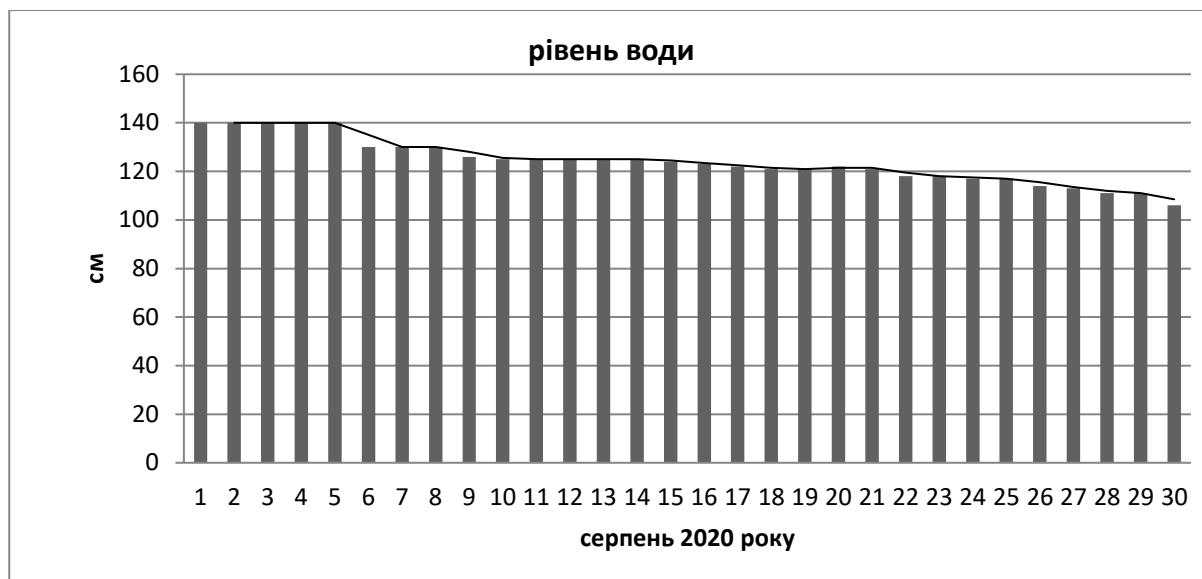


Рисунок 2.15.Рівень води в свердловині глибиною 8 м на РГС „Тросник” в серпні 2020 року.

В серпні на території Закарпаття зареєстровано 6 землетрусів, найменшу кількість протягом 2020 року(рисунок 2.16).



Рисунок 2.16. Сейсмічність регіону(діаграма сірого кольору) та варіації рівня води в свердловині на РГС „Тросник” в серпні 2020 року.

На фоні зниження рівня води в свердловині,сейсмічність проявлена в першій половині серпня 2020 року.

Вересень 2020 року. Рівень води за вересень 2020 року знизився на 20 см(рисунок 2.17).



Рисунок 2.17. Рівень води в свердловині глибиною 8 м в вересні 2020 року.

У вересні 2020 року на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 12 землетрусів (рисунок 2.18).

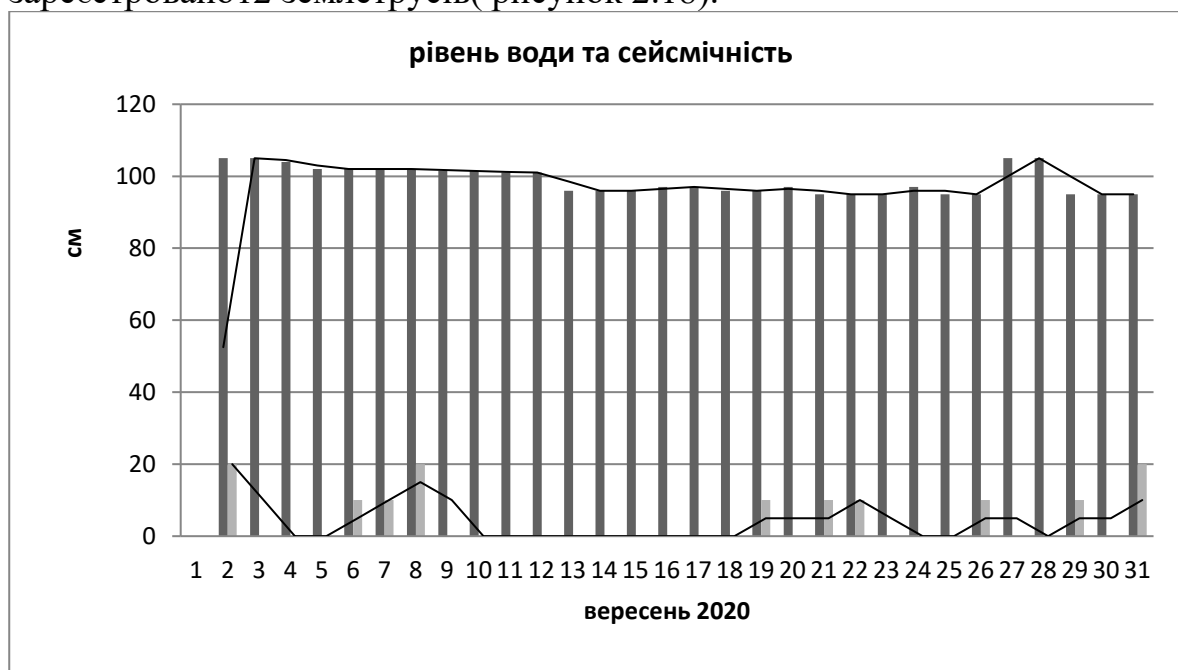


Рисунок 2.18. Рівень води в свердловині глибиною 8 м (діаграма чорного кольору) та сейсмічність регіону за вересень 2020 року в Закарпатському внутрішньому прогині.

Жовтень 2020 року. В жовтні 2020 року рівень води в свердловині глибиною 8 м підвищився на 24 см (рисунок 2.19).

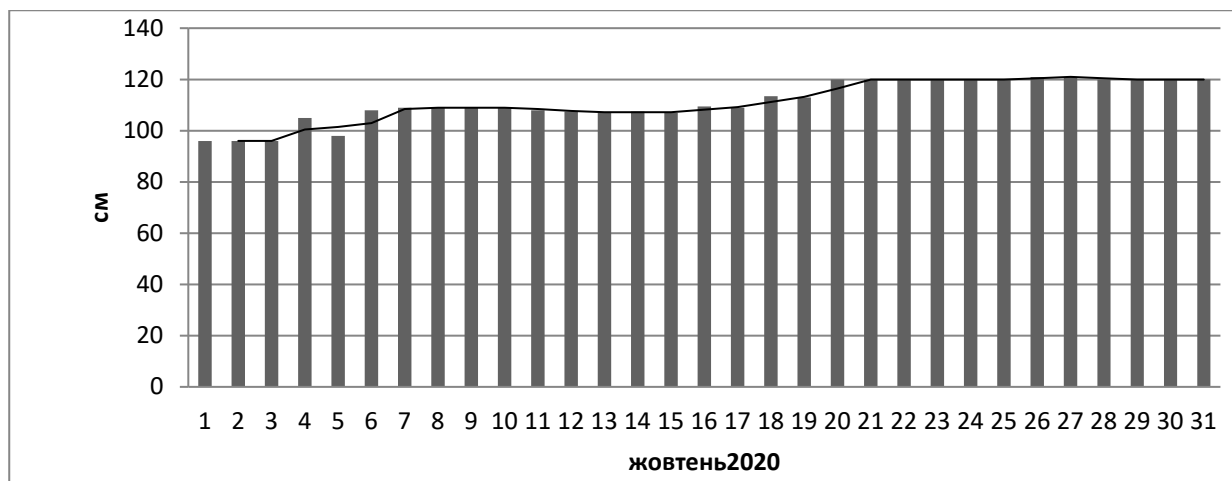


Рисунок 2.19. Рівень води в свердловині глибиною 8 м у вересні 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин.

В жовтні 2020 року зареєстровано 14 землетрусів в Закарпатті (рисунок 2.20).

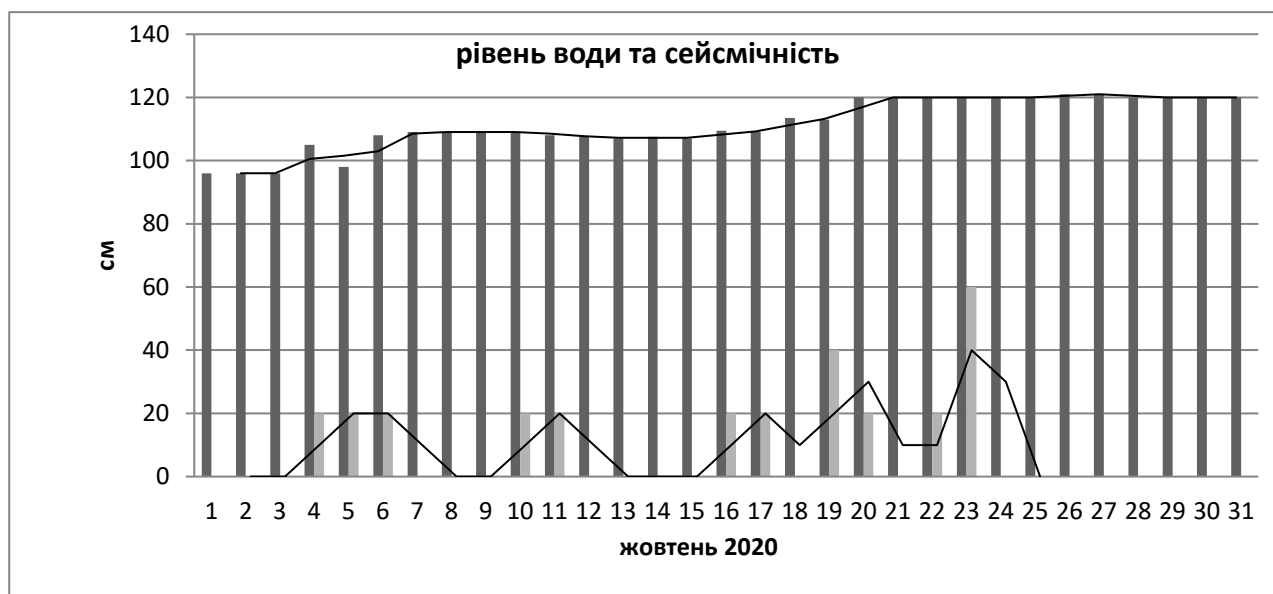


Рисунок 2.20. Рівень води в свердловині (діаграма чорного кольору)та сейсмічність регіону(діаграма сірого кольору) в жовтні 2020 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Динаміка коливань рівня води зв'язана із сейсмічними коливаннями поверхні земної кори. *Листопад 2020 року.* Рівень води в свердловині глибиною 8 м на РГС „Тросник” (рисунок 2.21).

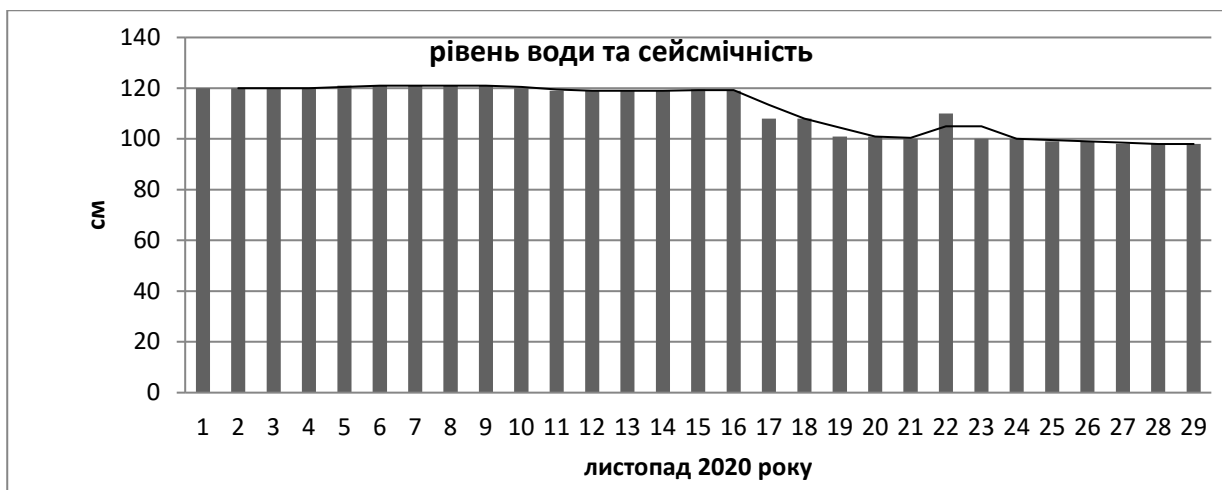


Рисунок 2.21. Рівень води в свердловині глибиною 8 м в листопаді 2020 року на РГС „Тросник”.

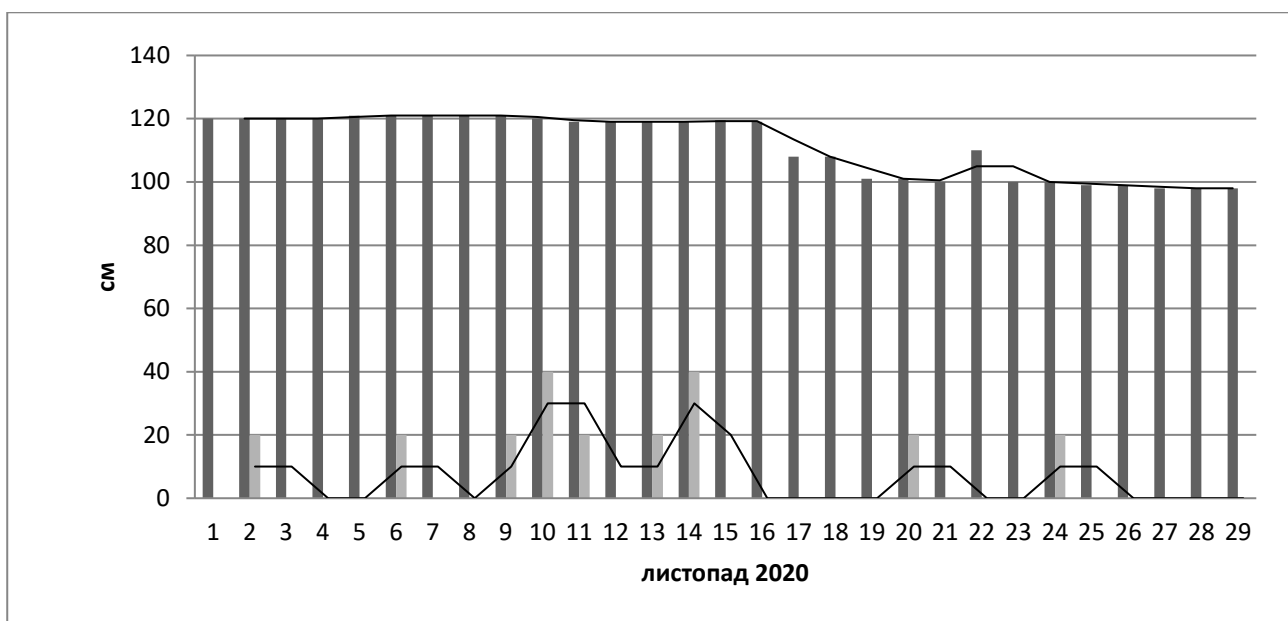


Рисунок 2.21. Рівень води в свердловині глибиною 8 м (діаграма чорного кольору) та місцева сейсмічність (діаграма сірого кольору) в листопаді 2020 року . Закарпатський внутрішній прогин.

Землетруси відбулися в періоди високої води в свердловинах викликаних рухами кори та атмосферними опадами.



Висновки.

За результатами проведених комплексних геофізичних спостережень в Закарпатському внутрішньому прогині на режимних геофізичних станціях та пунктах деформометричних спостережень за 2020 рік можна прийти до таких висновків:

- загальна тенденція рухів кори є розширення порід з величиною $+10 \times 10^{-7}$;
- величина зміщення земної кори виміряна на ПДС „Королеве” становить стиснення порід величиною – 28 нстр;
- сейсмічність регіону представлена 182 місцевими землетрусами в тому числі одного відчутного, зареєстрованого 23.січня 2020 року на території Виноградівського району Закарпатської області;
- вперше за період з липня 2015 року на території Закарпаття зареєстровано відчутний місцевий землетрус величиною 4-5 бали за шкалою MSK-64 на території Березівського району;
- максимальна розрядка напруженості припадає на середину березня 2020 року, що відповідає підняттю води в свердловині та стисненню порід;
- динаміка коливань рівня води зв'язана із сейсмічними коливаннями поверхні земної кори;
- сейсмічність регіону та коливання величини рівня води в свердловинах зв'язані: більшість землетрусів відбувалися в періоди росту рівня води в свердловинах, що можуть бути викликані стисненнями порід, інтенсивними опадами, підняттями рівня води в річках регіону;
- кінематика коливань рівня води в свердловині глибиною 8 м передує на 1 місяць аномалії місцевої сейсмічності;
- результати важливі при вивченні сейсмотектоніки регіону, геофізичних подій, що супроводжують підвищення динаміки сейсмотектонічних процесів;
- актуально вивчення кореляції сучасних рухів кори та варіацій параметрів гідрогеологічного стану регіону при побудові моделі екологічного стану Закарпатського внутрішнього прогину.