

УДК 550.383

**Комплекс наземних спостережень
для вивчення аномальних електромагнітних явищ,
пов'язаних із землетрусами**

В. Г. Кузнєцова, В. Ю. Максимчук, Ю. М. Городиський, Ф. І. Сєдова

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

Надійшла до редакції 17.10.96

Розглянуто фізичні основи виникнення аномальних електромагнітних явищ, пов'язаних з землетрусами, та наведено приклади виділених на основі експериментальних спостережень аномалій — провісників землетрусів. Розроблені основні напрямки необхідного наземного електромагнітного моніторингу для пошуку кореляції наземних та космічних електромагнітних явищ, пов'язаних з сейсмічністю.

На даний час дослідження провісників землетрусів залишаються однією з основних проблем сучасної геофізики. Проводяться пошуки аномальних явищ, пов'язаних з наближенням землетрусу на підставі комплексного геофізичного моніторингу, до складу якого входять сейсмічні, деформаційні та електромагнітні спостереження.

В СРСР, США, Японії, Греції, Китаї та інших країнах світу, які не раз зазнавали трагічних наслідків стихії, протягом останніх двадцяти років успішно розвивалися роботи з вивчення електромагнітних провісників землетрусів. Була розроблена методика наземного електромагнітного моніторингу, вивчалися зміни в часі електромагнітних параметрів і особливості сейсмічного режиму (Рикитакє, 1979; Гохберг, 1988; Садовский, 1982; Ларкина и др., 1987). У світовій практиці відомі випадки успішного прогнозу землетрусів. Так, прогноз Хайченського землетрусу в Китаї з магнітудою 7.3 (04.02.1975 р.) врятував життя багатьом тисячам мешканців провінції Ляонін (Друмя, Шебалин, 1985). Вдалим був також прогноз узбецьких геофізиків, які за шість годин повідомили про підземний поштовх в Алайській долині

01.11.1978 р. (Мавлянов и др., 1978). Однак землетруси останніх років на Курилах, Сахаліні, в США та Японії не були передбачені.

Можливість існування аномальних явищ — провісників землетрусів — базується на тому, що землетрус не є раптовою подією. Це тривалий процес, який назріває деякий час і призводить до змін параметрів середовища, що виявляються як провісники землетрусів. Нижче розглянуто тільки аномальні електромагнітні явища, пов'язані з землетрусами. Їх природу вивчають на основі відомих механіко-електричних ефектів у твердих тілах: п'єзомагнітний та п'єзоелектричний, електрокінетичні явища, процеси електризації при терті й руйнуванні. На основі експериментальних досліджень в різних регіонах були зафіксовані різні види електромагнітних ефектів сейсмотектонічної природи: зміни інтенсивності магнітного і електромагнітного полів, зміни опору гірських порід, збурення атмосферного електричного потенціалу і структури телуричного поля тощо. До ефектів електромагнітної природи слід також зарахувати і явища в атмосфері.

Ще на початку 1980-х рр., крім наземних ано-

мальних електромагнітних провісників, були отримані дані про аномальні збурення електромагнітного випромінювання в іоносфері в діапазоні від 100 Гц до 15 кГц (Ларкіна и др., 1987). Ці збурення спостерігалися супутником «Інтеркосмос-19» на висотах верхньої іоносфери в той час, коли супутник проходив поблизу епіцентрів сильних землетрусів ($M > 5.5$). Аналогічні результати були отримані і на інших супутниках («Інтеркосмос-Болгарія-1300», «Ореол-3», ГЕОС-2 та ін.) (Каталог, 1991). Аналіз результатів супутникових вимірювань, за якими встановлені аномальні явища, пов'язані з сейсмічною активністю, дозволив виділити п'ять основних типів іоносферних збурень, детально розглянутих Коцаренком та ін. (1995):

1. Варіації електричного та магнітного полів.
2. Збурення електромагнітних хвиль, перш за все низької частоти.
3. Збурення густини та температури іоносферної плазми в Е- та Т-шарах.
4. Варіації (збільшення) інтенсивності світіння іоносфери.

5. Поява або зміни потоків геоактивних частинок в магнітосфері.

Цей перелік явищ, очевидно, далеко не повний, бо на даний час ще немає достатньої кількості експериментальних матеріалів для коректних статистично обґрунтованих висновків та не розроблена теорія літосферно-іоносферних зв'язків. Слід також зауважити, що всі аномальні ефекти, які раніше спостерігалися, були зареєстровані на космічних системах, не пристосованих спеціально до проблеми передбачення землетрусів.

Використання космічної інформації (супутники) суттєво розширює масштаби досліджень аномалій електромагнітного поля, пов'язаних з сейсмотектонічними процесами, і дає додаткову інформацію для розробки моделей джерел і механізмів сейсмоіоносферних взаємодій. Припускається існування кількох таких механізмів (Molchanov, 1995; див. таблицю).

Наведені дані знайшли експериментальне підтвердження, але ступінь кореляції цих явищ з сейсмічною активністю не дозволяє прийняти жод-

Можливі механізми сейсмоіоносферних взаємодій

Електромагнітні явища, частотний діапазон	Метод спостережень	Зв'язок з явищами	Термін появи	Просторовий діапазон, км	Лабораторний експеримент\ макетування	Можливий фізичний механізм
Варіації електропровідності Землі ($f \sim 0$)	Активне зондування провідності ЕТ, МТ	Зміна рівня води у криницях. Приливні хвилі	А. декілька років, В. один місяць	100—200	+ \ -	Дифузія води через пористі породи, дилатансія та тріщинуютворення (злом)
Варіації магнітного поля SMS ($f \sim 0$)	Магнітометр. Різниця магнітних полів	Зовнішні геомагнітні варіації	А. декілька років, В. один місяць	100—200	+ \ -	Г'езомагнітний або електрокінетичний ефект (ЕКЕ)
Варіації електричного поля SES ($f \sim 0$)	Метод власного потенціалу, VAN	Зміни у атмосферних (геопотенціальних) полях E_a , E_Q -сйва	6—30 діб	50—250	+ \ -	— $\Delta \epsilon(P)$, п'езо-електричний ефект — ЕКЕ — зміна E_a — ЕКЕ
Ультранизькочастотна електромагнітна емісія, ($f = 0.01—10$ Гц)	Магнітний варіометр, електричні варіації у свердловинах	Геомагнітні пульсації	А. один місяць, В. одна доба	~ 100	+ \ -	— мікрозломи, електризація (FE)
Електромагнітна радіація, EMR ($f = 1$ кГц—10 МГц)	Радіоприймач	Вулканічні виверження, сйва, E_Q -сйва	А. один місяць, В. декілька діб	≤ 1000	+ \ +	— FE — $\Delta \sigma_a \times E_a$
Фаза і амплітуда варіацій наднизькочастотних сигналів ($f = 10—30$ кГц)	Радіовимірювання вздовж шляху ДНЧ-передачі	Газові виходи, зміни у атмосферній провідності, $T_{\text{ітрі}}$	А. один місяць, В. декілька діб	< 100 для короткого шляху, < 1000 для довгого шляху	- \ +	— σ_i (іоносфера) — $\Delta \sigma_a$
УНЧ/ДНЧ емісія над іоносферою ($f = 1$ Гц—20 кГц)	УНЧ/ДНЧ, радіо-ВЧ, E_Q -регіон від супутника	Модифікація атмосферної густини, іонної концентрації, температури	декілька діб	300/600	- \ +	— $\Delta \sigma_i$ подібно до зміни E_a

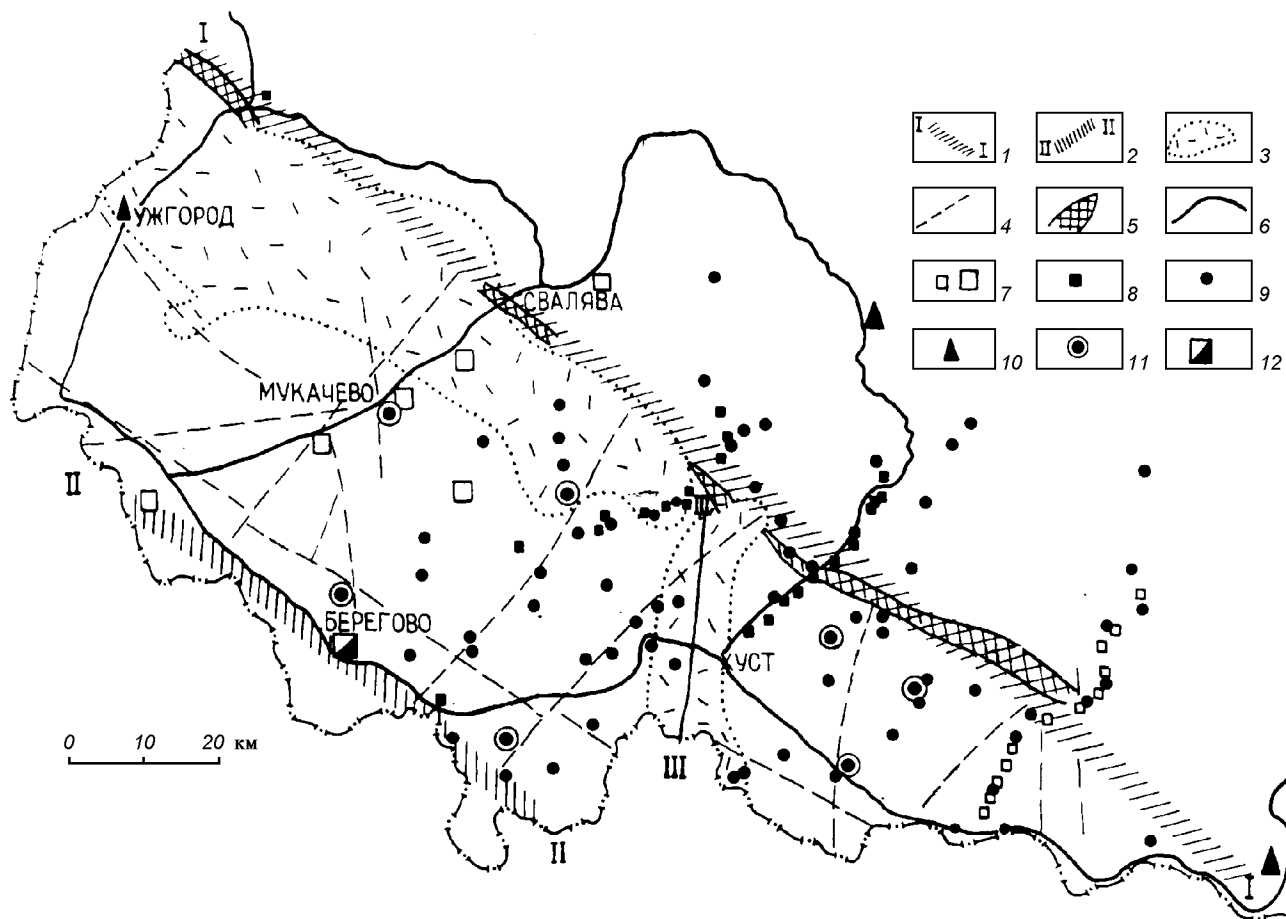


Рис. 1. Карпатський геодинамічний полігон: 1 — Закарпатський глибинний розлом, 2 — Припаннонський глибинний розлом, 3 — Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо, 4 — розломи донеогенового фундаменту, 5 — Пенінська зона, 6 — лінії нівелювання, 7 — вікові гравітаційні репери, 8 — вікові комплексні репери, 9 — пункти вікового ходу геомагнітного поля, 10 — сейсмічні станції, 11 — режимні геофізичні станції, 12 — штольня

не з них за вірогідного провісника. Нижче буде розглянуто проблему пошуку наземних ефектів на території України та перші вдалі спроби їх синхронних спостережень із землетрусами.

Для території України проблема прогнозу сейсмічної небезпеки є досить актуальною. Відомо, що на Україні існує два великі сейсмонезбезпечні регіони — Кримсько-Чорноморський і Карпатський. В межах Кримсько-Чорноморського регіону відомо біля 80 спостережень відчутних землетрусів, з яких шість — руйнівні (Пустовитенко і др., 1989). Інтенсивність цих землетрусів на території Криму і в південній частині України — від 5 до 8 балів. Найбільш інтенсивним у XX столітті був відомий Ялтинський землетрус 11.09.1927 р. ($M = 6.8$), який відчувався на території біля 4 млн км² і мав 571 афтершок в 1927—1933 рр.

В Українських Карпатах відомі дві сейсмоактивні зони — Закарпаття, де відчуваються землетруси силою 6—7 балів, і район Буковини, де також відомі 6-бальні землетруси (Харитонов і др., 1996). Крім місцевої сейсмічності, на території південного заходу України відчуваються поштовхи руйнівних землетрусів району Вранча (Румунія). Протягом останнього тисячоліття, від 1091 до 1990 рр., відбулося принаймні відомо 30 руйнівних землетрусів, вогнища яких знаходились в районі Вранча, деякі з них мали магнітуду більше 7.

Вивчення електромагнітних провісників землетрусів на основі наземного електромагнітного моніторингу виконується на протязі останніх 20 років на території Карпатського геодинамічного полігону (рис. 1), розташованого в найцікавішій сейсмоактивній частині Карпат — Закарпатському внутріш-

ньому прогині (Verbitsky et al., 1988).

На полігоні створена мережа режимних геофізичних спостережень, основною метою яких було вивчення часових змін геофізичних полів, полів деформацій та сейсмічного режиму. Чотири режимні геомагнітні станції ведуть цілодобову реєстрацію модуля T геомагнітного поля за допомогою протонних магнітометрів МВ-01 з чутливістю 0.1 нТл. Крім цього, на одній із станцій в спеціальному павільйоні додатково ведеться цілодобова реєстрація складових поля D , H , Z кварцовими варіометрами В. Боброва. Ця апаратура дозволяє реєструвати варіації змінного геомагнітного поля в діапазоні періодів від добових до КПК. Такий же полігон працює і в Криму.

Враховуючи актуальність проблеми прогнозу землетрусів для України і всього світу, а також сучасний високий рівень і можливості космічної техніки, Національним космічним агентством Ук-

раїни був запропонований і втілюється в життя міжнародний проект «Попередження». Основною метою проекту є вивчення комплексу фізичних явищ, передусім електричних і магнітних полів та їх аномальних змін, можливо пов'язаних з землетрусами. Космічний експеримент має поєднуватись з наземними вимірюваннями електромагнітних полів, полів деформацій, сейсмічними і метеоспостереженнями та іншими геолого-геофізичними дослідженнями.

В цій роботі продовжується розгляд основних проблем вивчення провісників землетрусів (див. Коцаренко та ін., 1995), пов'язаних з наземним супроводом — моніторингом магнітного поля Землі.

Враховуючи багаторічний досвід високоточних геомагнітних сейсмопрогностичних спостережень та існуючу мережу режимних станцій на Карпатському полігоні, пропонуються наступні види досліджень.

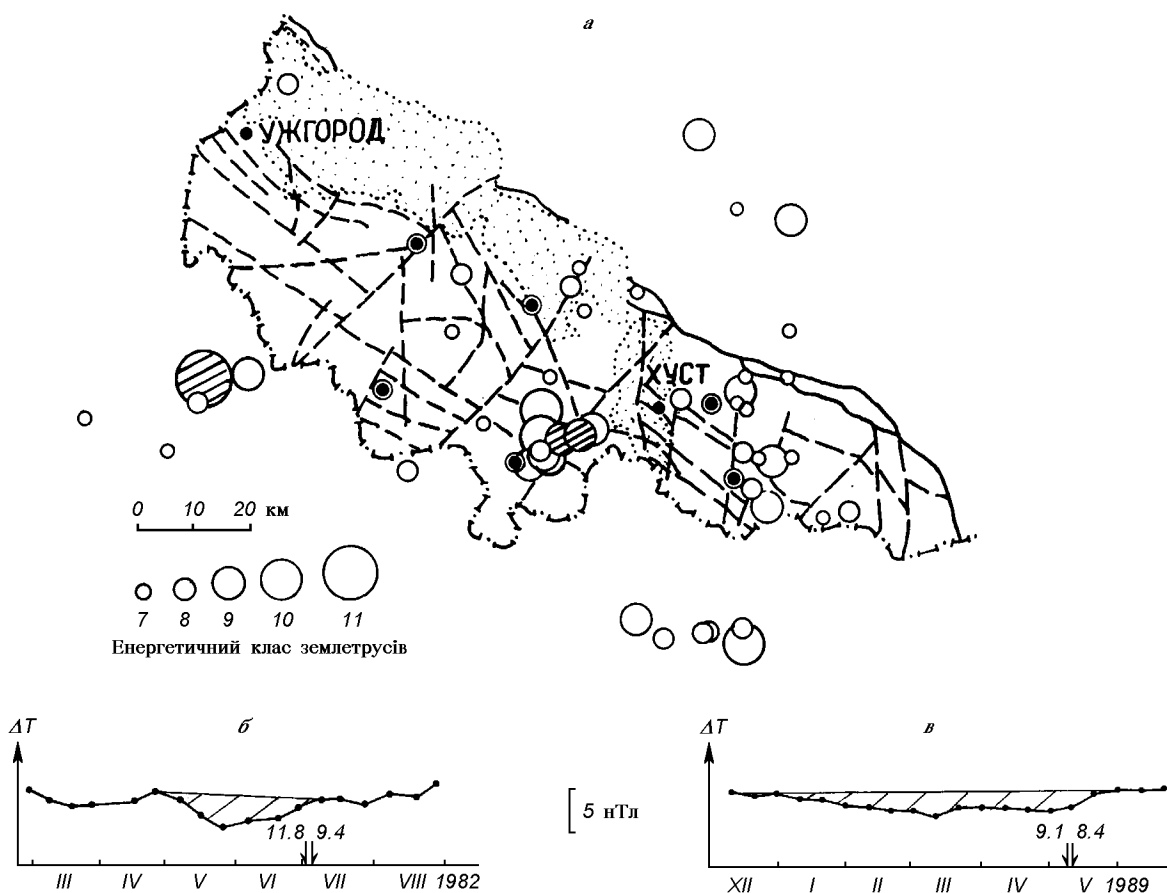


Рис. 2. Аномальні зміни геомагнітного поля — провісники місцевих землетрусів: а — сейсмічна карта Закарпаття за 1980—1990 рр., б, в — середньодекадні значення ΔT для Чопського і Виноградівського землетрусів відповідно. Стрілками відзначені моменти землетрусів, цифрами — їх енергетичний клас

1. ВИВЧЕННЯ ДОВГОПЕРІОДНИХ ВАРІАЦІЙ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

Під довгоперіодними варіаціями геомагнітного поля ми розуміємо варіації з періодом більше доби. Ці варіації вивчаються на основі цілодобових спостережень повного вектора T напруженості геомагнітного поля з наступним визначенням середньодобових значень поля. Використовується диференціальна методика спостережень, за якою визначаються середньодобові значення різницевого поля між парами режимних станцій. Така методика дозволяє вивчати тільки ту частину варіацій, яка обумовлена тектонічними процесами в літосфері (Кузнєцова, 1986; Kogepanov et al., 1994). Вона дозволяє при вивченні змін у часі геомагнітного поля виділити аномальні періоди, які зіставляються з сейсмічним режимом. За останні роки отримано також ряд аномальних часових змін, що в часі пов'язані з місцевими землетрусами.

На рис. 2 показано два характерні приклади аномалій-провісників, які були одержані на основі режимних спостережень протягом 1980—1990 рр., та схема розташування епіцентрів землетрусів за той же період часу. Максимальний аномальний ефект 4.5 нТл спостерігався перед Чопським землетрусом 02.07.1982 р. (рис. 2, б), епіцентр якого був розташований на відстані 10 км на захід від кордону між Угорщиною і Україною. Найбільш інтенсивні поштовхи силою до 6 балів по шкалі МСК-64 спостерігалися в трьох селах Берегівського району. Видно, що на початку травня почалось зменшення ΔT , максимальні зміни поля були зафіксовані в кінці травня, після чого різницеве поле почало збільшуватись і досягло початкового рівня приблизно в середині липня. На стадії відновлення поля і стався землетрус в районі Чопа. Майже аналогічний результат одержаний для серії Виноградівських землетрусів 06.05.1989 р. (рис. 2, в). На рис. 2, а епіцентри Чопського та Виноградівських землетрусів заштриховані.

Характерна форма аномалії ΔT у вигляді бухтоподібного збурення з подальшим відновленням початкового рівня поля є типовою для довгоперіодних аномалій геомагнітного поля — провісників землетрусів — і спостерігалась в інших сейсμοактивних районах (Абдуллабеков, 1989). В деяких випадках аномальні зміни ΔT відбуваються від серії поштовхів меншої сили.

Для уточнення місця, де має відбутися землетрус, на полігоні існує мережа рядових пунктів, спостереження на яких розпочинаються, коли за даними режимних станцій фіксуються аномальні зміни геомагнітного поля. Результати повторних

спостережень на цих пунктах дозволяють окреслити зону підготовки можливого землетрусу.

Подальший розвиток цього напрямку досліджень пов'язаний з вивченням змін в часі не тільки модуля T , але і складових геомагнітного поля, що дало б можливість більш надійно досліджувати джерела аномальних ефектів та її природу. Для цього необхідна нова апаратура для дообладнання існуючих режимних станцій.

2. ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ЗЕМЛІ

Наступний діапазон частот, з якого отримують певну інформацію про процеси, пов'язані з наближенням землетрусів, охоплює ділянку від десятків Гц до сотень кГц. В літературі є кілька термінів для аномальної поведінки поля в цьому діапазоні: аномалії природного імпульсного електромагнітного поля (ПІЕМП) або аномалії електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Інформаційними параметрами в цьому випадку можуть служити варіації рівня огинаючої ПІЕМП або варіації числа зареєстрованих імпульсів ПІЕМП з амплітудою, що перевищує рівень дискримінації. В практиці досліджень частіше користуються другим параметром. За останні 15—20 років, головним чином в Японії, США, Китаї і СРСР (Середня Азія, Карпати, Кавказ), накопичено велику кількість матеріалу, що демонструє кореляцію в часі між сейсмічними явищами і аномаліями ПІЕМП. На рис. 3 приведено деякі з таких випадків (Каталог, 1991). Природа цих кореляцій зводиться до механіко-електричних ефектів, що мають місце в процесах підготовки землетрусів. Джерелом ПІЕМП можуть бути всі спостережувані в твердих тілах і на їх границях між собою і з рідинами механіко-електричні явища, для яких характерна 9 швидка релаксація розділених зарядів.

Час життя зарядів контролюється локальними і флуктуаційними процесами релаксації вільних носіїв зарядів і електричного пробоя середовища. Згідно з розрахунками (Пархоменко, Бондаренко, 1972) для більшості гірських порід з питомим опором $\rho = 10^3—10^8$ Ом·м постійна часу $\tau_s = \varepsilon\varepsilon_0\rho = 10^{-7}—10^{-2}$ с, де ε — діелектрична проникність середовища, ε_0 — електрична стала.

При максимальних значеннях густини розділених зарядів значення локальних електричних полів перевищують значення поля пробоя гірських порід і рідин ($E = 10^7—10^8$ В/м), приводячи до часу релаксації зарядів порядку мікросекунд. Спектр ПІЕМП в цьому випадку лежить в діапазоні $10^{-4}—$

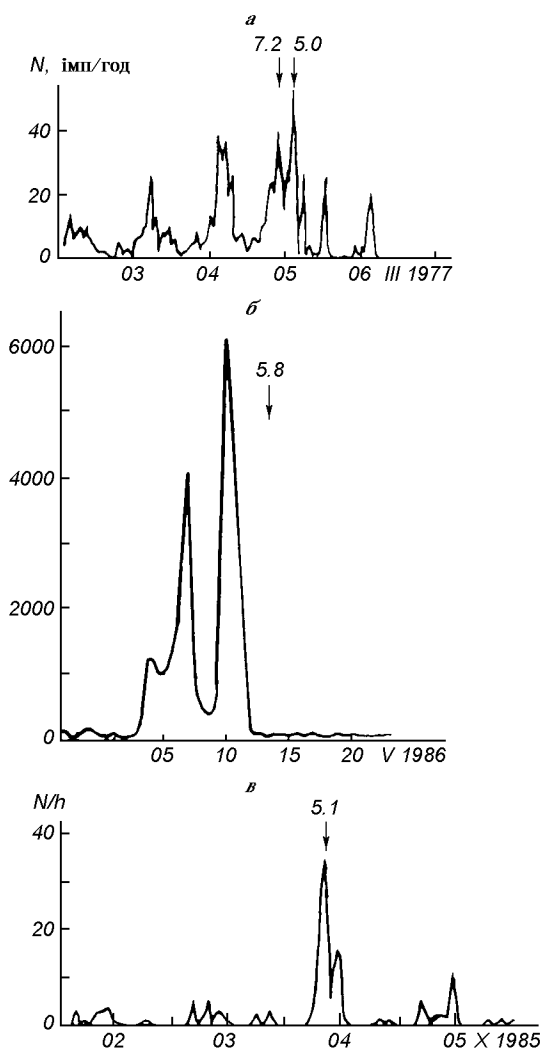


Рис. 3. Аномальні зміни природного імпульсного електромагнітного поля перед землетрусами (дані з каталогу, 1991): *а* — Карпатські (Румунія) 04—05.03.77; *б* — Параванський (Грузія) 13.05.86; *в* о. Хонсю (Японія) 03.10.85. Стрілками відзначені моменти землетрусів, цифрами — їх магнітуди

10 МГц. Потужність ПІЕМП одиничного акту, що відповідає релаксації заряду максимальної густини з поверхні 10^{-6} — 10^{-4} м², для діапазонів частот 10^{-2} — 10^{-1} і 0.4—10 МГц оцінюється величинами 10^{-16} — 10^{-11} і 10^{-10} — 10^{-3} Вт відповідно (Зубков и др., 1985).

Джерелом розділення і релаксації зарядів у верхніх шарах кори являються також електрокінетичні явища. Частотний діапазон ПІЕМП при швидкостях руху порових рідин 0.1—10 м/с складає 10^{-3} — 10^{-2} МГц.

Локалізація фізичних джерел зареєстрованого ПІЕМП може перебувати в різних відношеннях до

ділянки локалізації підготовки землетрусу: можуть фіксуватись ПІЕМП, що надходять безпосередньо з ділянки підготовки, або ПІЕМП від верхніх шарів кори внаслідок їх збудження пружними хвилями і зміною деформованого стану цих шарів, нарешті, можливе випромінювання з верхніх шарів, породжене процесами перевипромінювання збудженої в зоні підготовки електромагнітної енергії. Очевидно, конкретний механізм зв'язку ПІЕМП з сейсмічними явищами має значною мірою індивідуальний характер, що залежить як від геолого-електричних характеристик регіону, так і від типу можливого землетрусу. Це вносить певну невизначеність в можливості прогнозу на основі ПІЕМП. Зокрема, графік інтенсивності ПІЕМП перед землетрусом на о. Хонсю (рис. 3, *в*), як і для основної маси інших японських землетрусів, стосується неглибокофокусних землетрусів. В той же час значного посилення ПІЕМП при глибокофокусних землетрусах на території Японії не помічалось. Разом з тим на рис. 3, *а* показано приклад аномальних змін ПІЕМП, пов'язаних з глибокофокусними землетрусами в районі Вранча.

Не дивлячись на деякі позитивні результати, існує ряд причин зовнішнього характеру, які значно ускладнюють можливості прогнозу землетрусів за аномаліями ПІЕМП. В першу чергу це джерела ІЕМП техногенного характеру та атмосферні явища, особливо грозова діяльність, що також приводять до аномалій ПІЕМП. Помічено також кореляцію між аномаліями ПІЕМП і загальним фоном геомагнітної активності, а також сезонність ПІЕМП, яка в різних регіонах має різний характер.

Режимні роботи на Карпатському полігоні, пов'язані з реєстрацією ПІЕМП, перебувають на початковій стадії. Для організації таких спостережень необхідна спеціальна реєструюча апаратура, яка, на жаль, серійно не випускається.

3. ВИВЧЕННЯ АНОМАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОРТКОПЕРІОДНИХ ВАРІАЦІЙ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

В останні роки ведуться активні пошуки провісників землетрусів в короткоперіодних пульсаціях, які є найбільш тонким індикатором фізичного стану магнітосфери. Дані про генерацію геомагнітних пульсацій в зв'язку з землетрусами є в багатьох роботах (Гогатишвили, 1984; Голиков и др., 1985), але вони досить суперечливі як відносно морфологічних ознак (періоду коливань, тривалості збудження, часу їх появи і т. п.), так і відносно механізмів їх генерацій. Особливий інтерес викли-

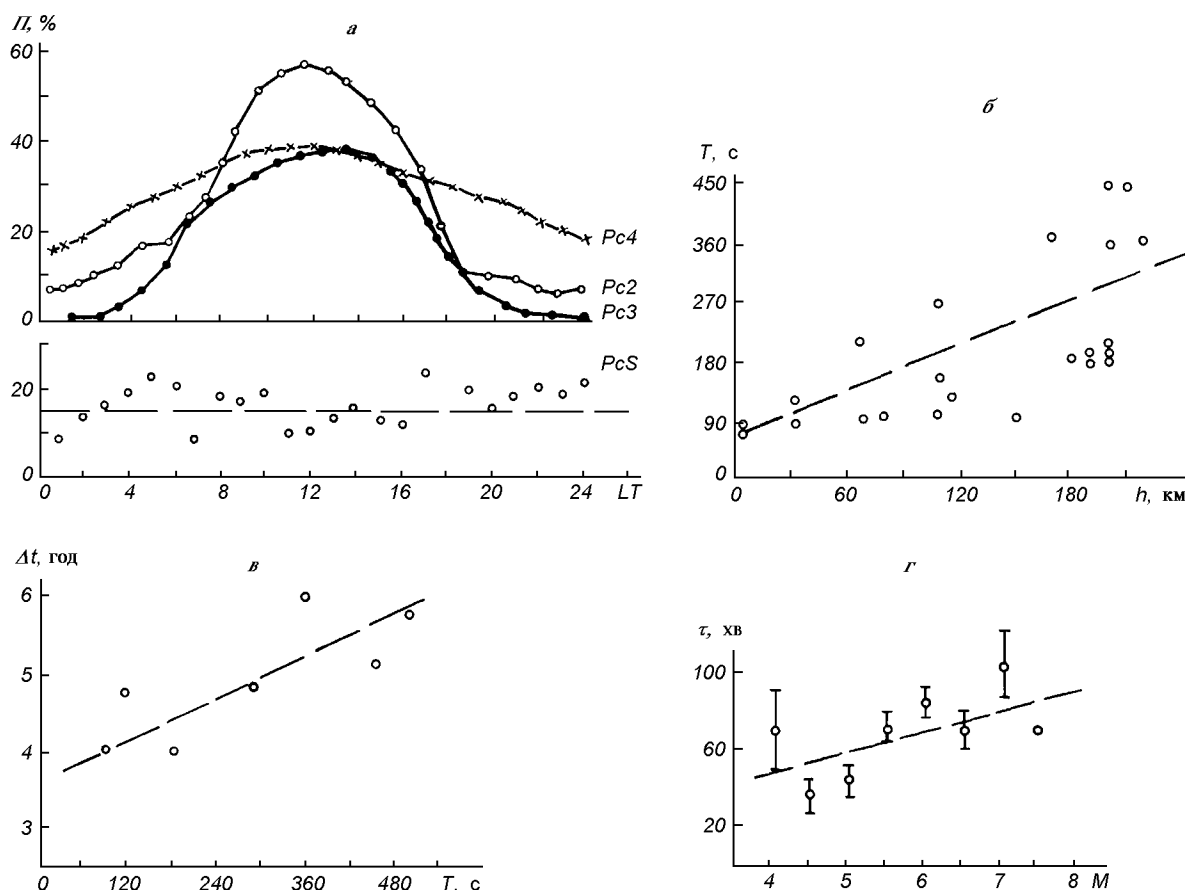


Рис. 4 Статистичні залежності між деякими параметрами пульсацій PcS і землетрусами: *a* — добовий хід пульсацій Pc2, Pc3, Pc4 і PcS; *б* — залежність між періодом T пульсацій і глибиною h вогнища землетрусу, *в* — залежність між періодом T пульсацій та інтервалом часу Δt до землетрусу, *г* — залежність між тривалістю τ пульсацій і магнітудою землетрусу

кають дані про збудження сплесків пульсацій перед землетрусами незалежно від розташування їх вогнища.

Виявлено зв'язки землетрусів з такими явищами, як аномальне збільшення інтенсивності електромагнітного випромінювання в іоносфері (Рахимов и др., 1991), зміни параметрів іоносферного шару F_2 , зокрема збільшення електронної концентрації (Гохберг и др., 1988), збільшення середнього рівня інтенсивності варіацій складових геомагнітного поля та ін. Такі зміни параметрів різних ділянок магнітосфери в зв'язку з землетрусами показують, що вказані вище прояви пульсацій не є випадковими явищами.

Довготривалі неперервні спостереження короткоперіодних пульсацій на регіональній електромагнітній станції в м. Корець ($\varphi = 50^\circ 40'$, $\lambda = 27^\circ 10'$) в попередні роки дозволили детально вивчити морфологію та закономірності прояву різних типів пульсацій. Проаналізувавши літературні дані про

зв'язки пульсацій з землетрусами та співставивши описані там прояви з даними станції «Корець», ми запропонували інший підхід до дослідження таких явищ. Зокрема, ми не розглядаємо поодинокі випадки сильних землетрусів і появу перед ними пульсацій, а попередньо виділяємо і досліджуємо особливості специфічних пульсацій, які не мають характерних для різних типів короткоперіодних коливань добових ходів (Нашида, 1980).

За більш як десятирічний період спостережень в м. Корець (1969—1980 рр.) складено каталог таких сплесків пульсацій, які ми позначили індексом PcS, вперше введеним в статті (Гогатишвили, 1984). В каталозі зазначено день і час прояву пульсацій та основні їх морфологічні ознаки: період коливань T , с, тривалість сплеску τ , хв. Для характеристики інтенсивності введена якісна оцінка у вигляді трьох категорій, зокрема до категорії «А» зараховані дуже чіткі пульсації підвищеної інтенсивності, до категорії «В» зараховані найбільш поширені спле-

ски, індексом «С» позначені слабкі прояви пульсацій.

Слід відзначити, що більшість сильних землетрусів відбувається в магнітозбуренні дні, коли спектр частот пульсацій дуже широкий, що утруднює виділення специфічних сплесків. Тому були вибрані магнітоспокійні дні та складено каталог PcS, які появилися в ці дні. Всього за вказаний період виявлено 250 сплесків PcS. В основному це пульсації типу Pc4-Pc5 тривалістю збурення не більше двох годин.

За попередніми даними спектр періодів виділених пульсацій PcS не залежить від рівнів магнітної та сонячної активності, а кількість проявів в середньому за рік пропорційна річному рівню сейсмоактивності.

Основною морфологічною ознакою пульсацій PcS є рівномірний розподіл частоти їх прояву протягом доби, що різко відрізняється від загальновідомих статистичних закономірностей добового розподілу різних типів короткоперіодних коливань. Для ілюстрації на рис. 4, а показано добові розподіли частоти проявів пульсацій регулярного режиму типів Pc2-Pc4 і PcS, які зовсім не зв'язані з певним проміжком доби.

Складений каталог PcS зіставлено з даними сейсмологічних бюлетенів. При зіставленні визначався інтервал часу Δt між появою пульсації і моментом землетрусу, причому враховувався перший в часі зареєстрований землетрус з магнітудою більше 4. Величини Δt розподіляються в інтервалі від 1 до 7 год практично з однаковою ймовірністю. Виявлено середньостатистичну лінійну залежність величин Δt від періоду пульсацій T (рис. 4, в). На графіку нанесені середні значення Δt в годинах за інтервалами періодів. В інтервалі усереднено по 30—50 окремих значень.

Серед інших характеристик, які увійшли в каталог, привертає увагу лінійна залежність між тривалістю τ прояву PcS і магнітудою наступного землетрусу (рис. 4, г). Тут також використано усереднені дані — тривалість сплесків PcS усереднювалася по інтервалах M з кроком 0.5.

Виявлено кореляцію між періодом пульсацій і глибиною вогнища землетрусу. В цілому ця кореляція незначна. Але для окремих зон сейсмічної активності вона простежується досить помітно. Для прикладу на рис. 4, б показана залежність періоду PcS від глибини вогнища землетрусів, зареєстрованих на території Афганістану. Видно лінійне збільшення періоду пульсацій в залежності від глибини вогнища землетрусу. Аналогічно лінійні співвідношення одержані для інших зон сейсмічності (Японія, Індонезія), хоч в каталогах дані про

глибину вогнища відсутні.

Відомо, що короткоперіодні коливання геомагнітного поля регулярного режиму є резонансними — вони генеруються в специфічних за електрофізичними параметрами порожнинах (резонаторах) магнітосфери. Тоді період коливань певною мірою залежить від ефективних розмірів ділянки збудження. Виявлені кореляційні зв'язки вказують, що чим глибше розміщене вогнище землетрусу, тим більша ділянка специфічного збурення в магнітосфері і тим раніше вона виникає. А від енергії процесу розрядки напруження в Землі залежить тривалість процесу збурення в магнітосфері.

Необхідно відзначити, що запропонований статистичний підхід для виявлення зв'язків короткоперіодних коливань геомагнітного поля з землетрусами показав можливість отримати якісні та кількісні оцінки тих фізичних параметрів, які зумовлюють взаємовплив процесів наближення землетрусів і специфічних явищ в магнітосфері Землі. Все це вимагає збільшення обсягів досліджень, зокрема проведення аналізу PcS в магнітозбуренні дні, що не тільки значно збільшить кількість даних, але і дозволить оцінити вплив параметрів магнітної та сонячної активності.

Значним кроком вперед в цих дослідженнях буде використання сучасного цифрового ферозондового магнітометра ЛЕМІ-003, який дасть можливість виділяти пульсації типу PcS більш обґрунтовано, ніж по аналогових стандартних магнітограмах з розгорткою 20 мм/год. В 1996 р. така апаратура встановлена на режимній станції «Н. Селище» і розпочаті експериментальні дослідження в неперервному режимі.

Вказані вище напрямки комплексу наземного електромагнітного моніторингу вже частково здійснюються на Карпатському полігоні і потребують як подальшого уточнення методики і автоматизації робіт, так і переходу на режим роботи в реальному масштабі часу. Цей електромагнітний комплекс повинен доповнюватися іншою гео-фізичною інформацією (сейсмологічні і деформаційні спостереження), метеоданими, системою GPS-спостережень.

Цікава можливість проведення пошуку кореляції наземних та космічних електромагнітних явищ, пов'язаних з сейсмічною активністю, виникає в зв'язку з виведенням на орбіту в 1995 р. супутника «Інтербол». На борту цього супутника активно працює комплекс АСПИ, до якого входить система з українського та німецького магнітометрів, що покривають разом смугу частот від постійної складової до 2000 Гц (Klimov et al., 1995). Попереду великий обсяг робіт над розшифровкою та оброб-

кою потоку даних, що поступає через Центр далекого космічного зв'язку в м. Євпаторії.

Безумовно, організація комплексних наземних і космічних електромагнітних спостережень в Україні, які не мають аналогів в світовій практиці, дозволить отримати нову цікаву наукову інформацію про аномальні явища сейсмотектонічної природи, що буде певним кроком вперед у вирішенні проблеми прогнозу сейсмічної небезпеки.

- Абдуллабеков К. Н. Электромагнитные явления в земной коре. — Ташкент: Фан, 1989.—232 с.
- Гогатишвили Я. М. Геомагнитные предвестники интенсивных землетрясений в спектре геомагнитных пульсаций с частотами 1—0.02 Гц // Геомагнетизм и аэронавигация.—1984.—21.—С. 697—700.
- Голиков Ю. В., Д'Коста, Пилипенко В. А. Геомагнитные пульсации возбуждаемые при сильных землетрясениях // Геомагнетизм и аэронавигация.—1985.—25.—С. 824—828.
- Гохберг М. П. (ред.) Поиск электромагнитных предвестников землетрясений. — М.: Ин-т физ. Земли, 1988.—243 с.
- Гохберг М. Б., Кустов А. В. и др. О возмущениях в F-области ионосферы перед сильными землетрясениями // Изв. АН СССР. Физика Земли.—1988.—№ 4.—С. 12—20.
- Друмя А. В., Шебалин Н. В. Землетрясение: где, когда, почему? — Кишинев: Штиинца, 1985.—194 с.
- Зубков С. И., Мигунов И. И. О времени возникновения электромагнитных предвестников землетрясений // Геомагнетизм и аэронавигация.—1975.—15, № 6.—1070 с.
- Каталог импульсных электромагнитных предвестников землетрясений. — М.: АН СССР (Ин-т физ. Земли), 1991.—127 с.
- Коцаренко М. Я., Корепанов В. С., Івченко В. М. Дослідження іоносферних провідників землетрусів (експеримент «Попередження») // Космічна наука і технологія.—1995.—1, № 1.—С. 96—99.
- Кузнєцова В. Г. Изучение геодинамических процессов и предвестников землетрясений в Карпатах на основе тектономагнитных исследований // Прогноз землетрясений. — Душанбе—Москва: Дониш, 1986.—7.—С. 219—233.
- Ларкина В. И., Мигулин В. В., Молчанов О. А. и др. Статистические особенности возбуждения низкочастотных излучений в верхней ионосфере над районами землетрясений. — М., 1987.—22 с.—(Препринт / АН СССР. ИЗМИРАН; № 16 (705)).
- Мавлянов Г. А., Уломов В. И., Абдуллабеков К. Н. и др. Аномальные вариации геомагнитного поля в восточной Фергане — предвестник Алайского землетрясения

2. XI. 1978 г. // Докл. АН СССР.—1979.—246, № 2.—294 с.
- Нишида А. Геомагнитный диагноз магнитосферы. — М.: Мир, 1980.—С. 220—224; С. 230—234.
- Пархоменко Э. И., Бондаренко А. Т. Электропроводность горных пород при высоких давлениях и температурах. — М.: Наука, 1972.—279 с.
- Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Горячун А. В. Землетрясения Крымско-Черноморского региона. — Киев: Наук. думка, 1989.—192 с.
- Рахимов И. А., Ризаев К. И., Ханбердиев А. и др. Волновые возмущения электронного содержания ионосферы в период повышенной сейсмической активности // Ионосферные эффекты землетрясений АН ТССР. — Ашхабад, 1991.—С. 14—15.
- Рикитак Т. Предсказание землетрясений. — М.: Мир, 1979.—338 с.
- Садовский М. А. (ред.) Электромагнитные предвестники землетрясений. — М.: Наука, 1982.—88 с.
- Харитонов О. М., Костюк О. П., Кутас В. В. и др. Сейсмичность территории Украины // Геофиз. журн.—1996.—18, № 1.—С. 3—15.
- Klimov S., Romanov S., Amata E., et al. ASPI experiment: Measurements of fields and waves onboard the INTERBALL-TAIL mission. INTERBALL. Mission and Payload, CNES-IKI-RSA, 1995, P. 120—152.
- Korepanov V., Kuznetsova V., Maksymchuk V. Tectonomagnetic investigations as ground support of space earthquake prediction experiment // Electromagnetic phenomena related to earthquake prediction. — Tokyo: Terrapub, 1994.—P. 489—491.
- Verbitsky T. Z., Kuznetsova V. G., Somov V. J. The results of complex investigations on the Carpathian geodynamic polygon // J. Geodynamics.—1988.—9.—P. 177—186.

GROUND-BASED OBSERVATIONS FOR STUDYING ANOMALOUS ELECTROMAGNETIC PHENOMENA RELATED TO EARTHQUAKES

V. G. Kuznetsova, V. Yu. Maksymchuk,
Yu. M. Horodys'kii, and F. I. Siedova

The physical background of origination of anomalous electromagnetic phenomena related to earthquakes are discussed. We demonstrate that it is possible to recognize anomalies preceding earthquakes on the basis of careful experimental investigations. The main aspects of the methodology of the necessary ground-based electromagnetic monitoring are developed for the search of correlations between ground and cosmic electromagnetic phenomena.