

УДК 550.83

Лящук Д.Н.¹, Назаревич А.В.², Назаревич Л.Є.³¹Західно-Українська геофізична розвідувальна експедиція²Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАНУ³Карпатська дослідно-методична геофізична партія ІГФ НАНУ

(м. Львів, Україна)

ГЕОЕЛЕКТРОМАГНІТОЕМІСІЙНИЙ МЕТОД В ГЕОДЕЗИЧНОМУ ТА ГЕОДИНАМІЧНОМУ МОНІТОРИНГІ

© Лящук Д.Н., Назаревич А.В., Назаревич Л.Є., 2003

Описывается применение геоэлектромагнитноэмиссионных методов в геодезическом и геодинамическом мониторинге. Приводятся примеры исследований локальных процессов в зонах расположения геофизических станций на Закарпатье.

Application of geoelectromagnetic emition methods in geodetic and geodynamic monitoring is described. It is by examples of research of local processes in transcarpathian geophysical stations territories illustrated.

Одним з широко застосовуваних для геодинамічного моніторингу геофізичних методів є геоелектромагнітноемісійний (ЕМЕ) метод, який ще називають методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ). В силу своїх методичних особливостей (в першу чергу мобільності) ЕМЕ метод застосовується здебільшого для поверхневих площинних і профільних знімань з метою виявлення геодинамічно активних зон і контролю відповідних геодинамічних процесів.

Фізичними основами методу є випромінювання породами електромагнітних хвиль в процесі тріщиноутворення та змін стану тріщин. Ці процеси відбуваються в геодинамічно активізованих зонах масивів порід при змінах там напружень і деформацій. Слід зауважити, що геоелектромагнітна емісія, порівняно, наприклад, з акустичною, є ефектом більш опосередкованим, бо, за даними різних досліджень, поряд з ефектами поляризації берегів тріщин при їх утворенні і рості (основними для твердих моно- чи полікристалічних тіл) в гірських породах (особливо в обводнених, тобто в умовах природнього їх залягання) важливе місце посідають непрямі – електрокінетичні (електричні струми в породних флюїдах), модуляційні (модуляція тріщинами телуричних струмів за рахунок швидких змін опору порід при тріщиноутворенні) та інші ефекти, вклад яких в сумарний рівень ЕМЕ може бути переважаючим.

Методика ЕМЕ досліджень є наступною – за допомогою радіохвильового індикатора (РХІНДС-ПМ) вимірюють рівень ЕМЕ (кількість імпульсів за певний часовий інтервал) в різних пунктах досліджуваного профілю чи площині (зони розлуму, зсуви небезпечної ділянки та ін.) і по співвідношенню рівнів активності в цих пунктах роблять висновки про наявність і геометрію геодинамічно активних зон, їх природу і потенційну небезпеку. Для геодинамічного моніторингу використовують дані повторних знімань і (або) режимних спостережень в окремих пунктах, порівнюючи їх з попередніми даними, роблять висновки про часово-просторову еволюцію контролюваних процесів. За даними вже проведених численних досліджень (Д.Н.Лящук, В.Д.Чебан, С.О.Лизун, Е.Д.Кузьменко та інші) ЕМЕ метод є ефективним в геодинамічному моніторингі. Але для розробки найбільш ефективних методик застосування ЕМЕ методу в комплексних геодинамічних дослідженнях необхідно враховувати його методичні особливості, переваги і недоліки при дослідженні конкретних об'єктів та процесів.

Основною перевагою ЕМЕ методу є його мобільність, оскільки антена приладу сприймає ЕМЕ на відстанях в десятки метрів від джерела випромінювання і не потребує безпосереднього контакту з породним масивом. Цим же визначається і основний недолік методу – сильна чутливість його до електромагнітних завад різного походження, в першу чергу промислових. Значими методичними вдосконаленнями на шляху врахування і нейтралізації таких завад є застосування ортогональних трикомпонентних магнітних антених систем і методики диференційних вимірювань за допомогою пари приладів, один з яких (опорний) постійно вимірює рівень ЕМЕ на базовому пункті, а інший (основний) працює синхронно, рухаючись по досліджуваному профілю чи ділянці. Значна редукція впливу завад на знімальний прилад здійснюється при цьому, зокрема, за рахунок порівняння між собою і різновагового сумування сигналів окремих поляризаційних складових основного приладу і (або) порівняння їх з даними опорного приладу. Ефективними

способами, що полегшують виділення геоактивних зон різного походження, є різні методики нормування вимірюваного ЕМЕ сигналу. Ще одним новим прийомом нейтралізації завад може бути розміщення допоміжного приладу в зоні дії інтенсивної завади, синхронне вимірювання рівня цієї завади, і наступна редукція її впливу з вимірювань на досліджуваній ділянці значень ЕМЕ. При застосуванні ЕМЕ методу в шахтних умовах, де наявні інтенсивні завади від технологічного устаткування, можна рекомендувати використання виносних активних магнітних антен, розміщуваних у шпурах, тобто максимально наблизжених до джерел природної ЕМЕ, і одночасно захищених від промислових заводів екрануючим ефектом породного масиву.

Дуже цікаві та багатообіцяючі перспективи застосування ЕМЕ методу в високоточних геодезичних та геодезично-геомоніторингових дослідженнях. Це і визначення стійкості геодезичних реперів, і важлива інформація для просторової інтерполяції геодезичних даних, і визначення місць закладання нових реперів, розв'язання інших завдань. Але перш, ніж аналізувати ці перспективи, покажемо деякі вже реалізовані приклади застосування ЕМЕ методу, які послужать нам наочним матеріалом в подальшому.

Зокрема, ілюстрацію до вказаних вище можливостей ЕМЕ методу можуть бути результати його застосування для дослідження локальних геодинамічних процесів в зонах режимних геофізичних станцій КВ ІГФ у Закарпатті. Ідея цих досліджень полягала в наступному. Як відомо, Карпатським відділенням Інституту геофізики НАНУ (м. Львів) вже на протязі близько 20 років ведуться комплексні режимні геофізичні дослідження геодинамічних і сейсмотектонічних процесів на мережі режимних геофізичних станцій (РГС) у Закарпатті. Оскільки геофізичні дослідження на станціях є за своєю суттю точковими, бо характеристики тих чи інших геофізичних полів вимірюються в місці встановлення відповідної апаратури, для обґрутованого виділення регіональних та субрегіональних геодинамічних складових зареєстрованих варіацій та наступної інтерполяції цих даних по всій території Закарпаття необхідно вивчити і врахувати вплив на результати вимірювань локальних геодинамічних процесів у зонах розташування станцій.

Особливо актуальними ці задачі є стосовно РГС “Берегове” і “Королево”, де ведуться деформографічні спостереження, оскільки тут були зареєстровані досить своєрідні аномальні деформаційні ефекти. Так, на РГС “Берегове” зафіксовано аномально великі добові варіації на короткому плечі деформографа. На РГС “Королево” (рис.1) у 2002 році спостерігалися аномально великі деформації розтягу. Тому у серпні 2002 року нами проведено ЕМЕ дослідження на територіях цих станцій, на кожній з них проведено знімання по двох профілях. Вертикальний розріз по профілю 1 (1-а) на РГС “Королево” (на якому нижче зупинимось більш детально) наведено на рис.2, а рівень ЕМЕ поля по цих профілях – на рис.3. Методика досліджень була наступною – вимірювання ЕМЕ поля проводились на протязі 10 секунд (з фіксацією даних окремо за кожну секунду) на кожному з пікетів вздовж вказаних профілів, потім будувалися графіки поведінки вздовж профілю різних (в даному випадку (рис.3) середніх) значень поля.

Аналізуючи отримані дані, можна констатувати наступне. На профілі 2 на РГС “Берегове”, який пройдено в основному по підземній камері РГС вздовж короткого (пікети 1 і 2) та довгого (пікети 2-6) плеч деформографа, ЕМЕ поле є дуже малим (кілька чи кільканадцять імпульсів за секунду) і регулярним (максимальні, середні, середні медіанні та мінімальні значення на кожному пункті ведуть себе ідентично). Трохи (до кількох десятків імпульсів на секунду) зростає рівень поля тільки на виході профіля назовні. Отже, оскільки в зоні короткого плеча деформографа рівень поля є дуже малим, це ніяк не вказує на геодинамічну активність розташованої там тектонічної тріщини. Тому зараз основною причиною підвищеного рівня добових деформаційних варіацій на цьому плечі деформографа вважається метеотемпературний вплив через недостатньо перекриту вентиляційну шахту, тим більше, що на це вказує також досить високий рівень вимірювань нами добових варіацій температури в цій зоні штолні, а також значна (через недостатню конструкційну облаштованість) чутливість деформографа до температурних впливів. Подібні метеотемпературні впливи також фіксувалися нами і при проведенні штолневих геоакустичних спостережень в районі Мужієво.

Що стосується РГС “Королево”, то тут за результатами ЕМЕ досліджень (рис.3) виявлено дуже великий (до 1000 імп./с – всередині штолні, біля її входу (профіль 1, пікети 1 і 2) і до 450 імп./с на осіпі ззовні над входом (профіль 1-а, пікети 2-5)) рівень ЕМЕ поля, який однозначно вказує на геодинамічну активізацію цієї зони. Так як за даними по профілю 1 (рис.3, пікети 4 і 5), а також по профілю 2 рівень поля з віддаленням від зони входу у штолню помітно спадає (до 63-120 імп./с), нами зроблено висновок про локальність цієї зони активізації.

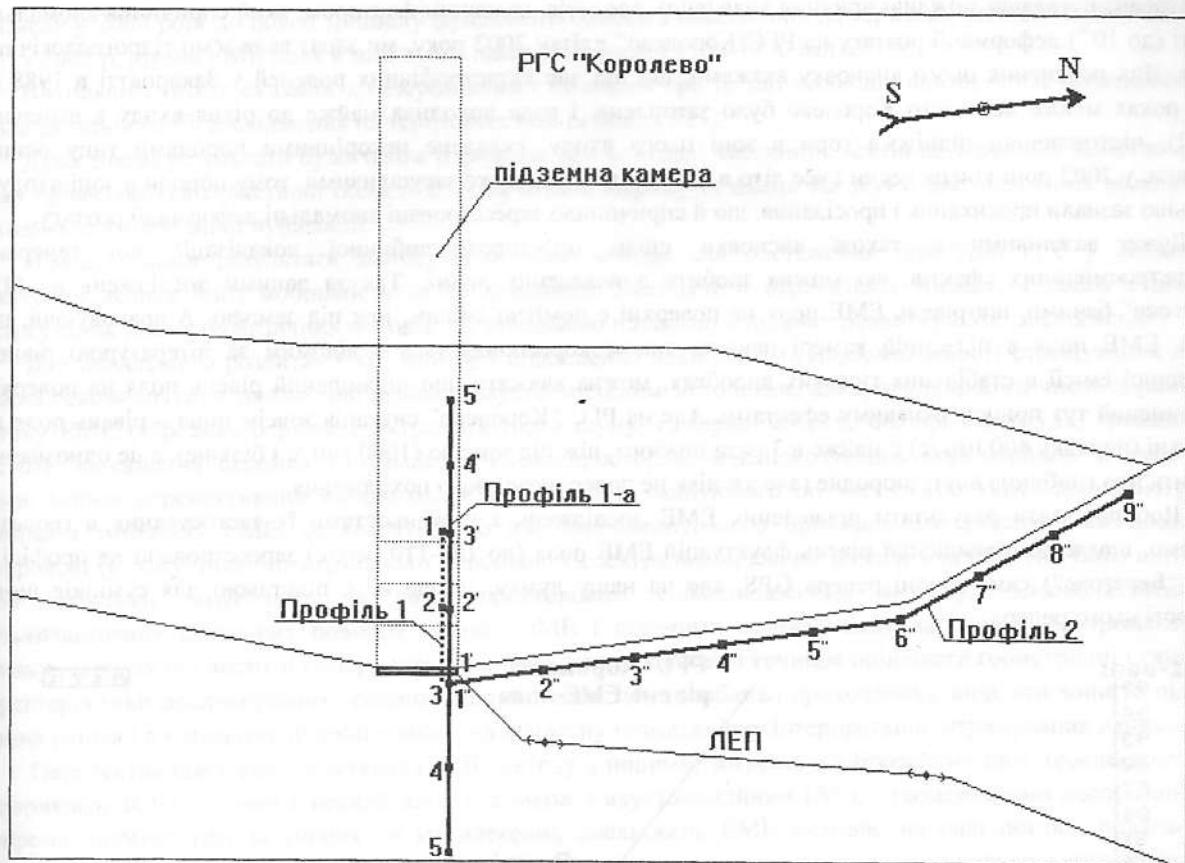


Рис.1. План-схема РГС "Королево" з ЕМЕ профілями.

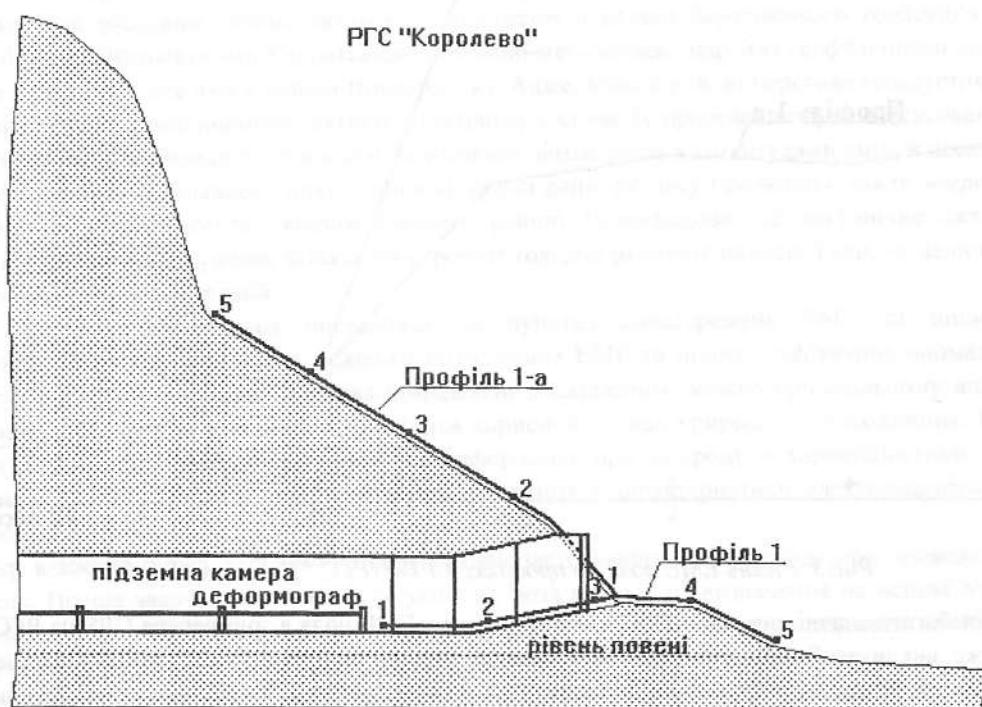


Рис.2. Вертикальний розріз по профілях 1 і 1-а (РГС "Королево").

Проаналізувавши можливі причини виявлених процесів, головним фактором, який спричинив аномально великі (до 10^{-4}) деформації розтягу на РГС "Королево" влітку 2002 року, ми зараз вважаємо гідрогеологічний ефект. Для пояснення цього висновку вкажемо, що під час катастрофічних повеней у Закарпатті в 1988 та 2000 роках майже все місто Королево було затоплене, і вода доходила майже до рівня входу в штолню (рис.2), підтоплюючи підніжжя гори в зоні цього входу, складене некорінними породами типу осипу. Навпаки, у 2002 році кінець весни і все літо в Закарпатті були дуже засушливими, тому породи в зоні входу у штолню зазнали просихання і просідання, що й спричинило зареєстровані аномальні деформації розтягу.

Дуже важливими є також висновки щодо просторово-глибинної локалізації зон генерації геоелектроемісійних ефектів, які можна зробити з наведених даних. Так за даними досліджень на РГС "Берегове" бачимо, що рівень ЕМЕ поля на поверхні є помітновищим, ніж під землею. А враховуючи, що рівень ЕМЕ поля в підземній камері певним чином кореспондується з відомим за літературою рівнем акустичної емісії в стабільних гірських виробках, можна вважати, що підвищений рівень поля на поверхні спричинений тут приповерхневими ефектами. Але на РГС "Королево" ситуація зовсім інша – рівень поля на поверхні (порядку 400 імп./с) є майже в 3 рази нижчим, ніж під землею (1000 імп./с і більше), а це однозначно свідчить про глибинне внутрішньородне (але аж ніяк не поверхневе) його походження.

Щоб пов'язати результати проведених ЕМЕ досліджень з можливостями їх застосування в геодезії, вкажемо, що дещо підвищений рівень флюктуації ЕМЕ поля (до 100-110 імп./с) зареєстровано на профілі 1 (РГС "Берегове") саме в зоні репера GPS, але на нашу думку, це ще не є підставою для сумнівів щодо стійкості цього репера.

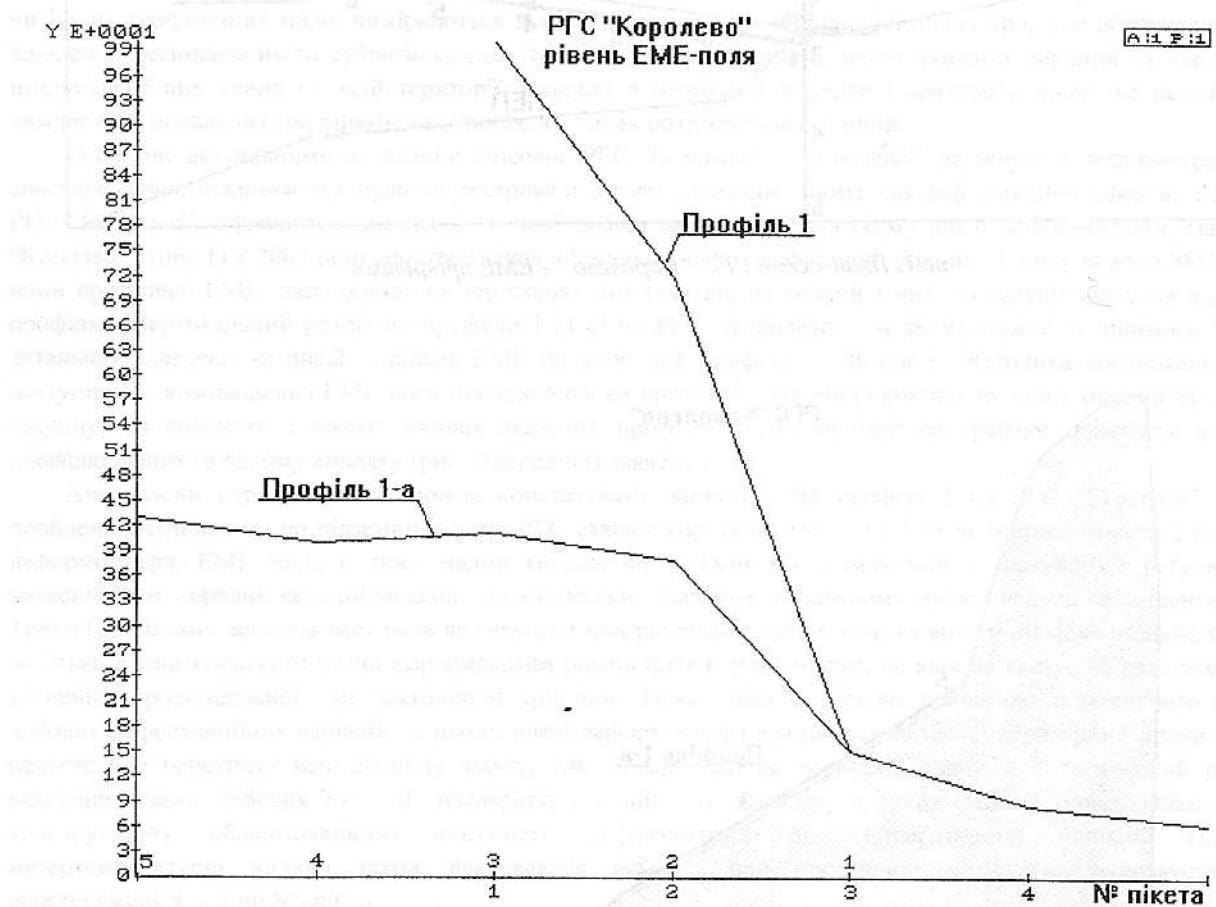


Рис.3. Рівень ЕМЕ поля по профілях 1 і 1-а (РГС "Королево").

Натомість, набагато значішим (до 400-630 імп./с) є рівень ЕМЕ поля в зоні репера GPS на РГС "Нижнє Селище", що вже викликає багато запитань. Тим більше, що на території РГС "Нижнє Селище" наявні активні геодинамічні процеси, серед яких в першу чергу слід назвати активізацію тут зсуvinих явищ, особливо, під час дощового 2000 року, коли на Закарпатті мали місце катастрофічні повені. Ці зсуvinі процеси

призвели у 2000 році до появи тріщин у фундаменті одного з павільйонів на території станції. Зауважимо, що влітку 2002 р. рівень ЕМЕ поля в зоні цього павільйону склав 1100-1350 імп./с.

Виходячи з усього сказаного, безсумнівним є висновок про те, що необхідні повторні і за можливості ще більш детальні ЕМЕ дослідження на територіях цих та інших РГС.

Дуже цікаві результати було також отримано при контролі численних зсувів на території Закарпаття, де чітко проявляються геоактивні області в зонах стінок відриву та самих тіл зсуву, але аналіз цих результатів входить за рамки даної публікації.

Наведені нами результати застосування ЕМЕ методу для обстеження територій РГС у Закарпатті показують велику його мобільність та ефективність. Виходячи з отриманого досвіду, а також з досвіду застосування інших геофізичних методів, напрацьовано подальші напрямки розвитку ЕМЕ досліджень.

Для подальшого розвитку ЕМЕ методу і підвищення надійності та інформативності отримуваних даних можна рекомендувати, аналогічно відомим акустоемісійним методикам, контроль ширшого числа параметрів потоку ЕМЕ (середнього рівня електромагнітного шуму, сумарної енергії, пікової амплітуди, тривалості і частоти заповнення окремих імпульсів) і часово-просторове відслідковування кореляційних зв'язків між ними. Іншим перспективним напрямком є застосування скануючого по частоті (по типу характерографа) приймача імпульсів ЕМЕ, багатосмугового або широкосмугового приймального каналу з комплексною цифровою (в тому числі спектральною) обробкою і спектрально-часовим аналізом прийнятих ЕМЕ сигналів. Такі методики дозволяють за часово-просторовим співвідношенням амплітуд високочастотних і низькочастотних складових повного сигналу ЕМЕ і відомими залежностями загасання електромагнітних хвиль в породах від частоти і опору цих порід набагато надійніше і точніше оцінювати геометричні і глибинні характеристики досліджуваних геодинамічно активних зон (особливо прихованих), виділяти зони та підзони різних рангів і в кінцевому підсумку вийти на кількісну геомеханічну інтерпретацію отримуваних даних.

Перспективним є комплексування ЕМЕ методу з іншими, зокрема, з вібросейсмічним, геоелектричними (наприклад, ЗСБЗ), де вже є певний досвід, а також з акустоемісійним (АЕ), з геодезичними дослідженнями. Зокрема, перспективи застосування ЕМЕ методу для попереднього реконсцируального виявлення геоактивних зон. Адже наступна постановка комплексного моніторингу на таких геоактивних зонах на 1-2 порядки підвищує ефективність моніторингових досліджень, оскільки контроль здійснюється саме там, де найбільше змінюється напружене-деформований стан породних масивів і, відповідно, є найбільший рівень геодинамічних ефектів. Даний висновок яскраво ілюструється на прикладі наших геоакустичних спостережень за місцевим сейсмотектонічним процесом в районі Берегівського горбогір'я в Закарпатті і порівнянні їх зі здійснюваними Карпатською дослідно-методичною партією геофізичними спостереженнями там же на Закарпатті, але вже в районі Виноградова. Адже, коли в районі Берегове геоакустичні дослідження здійснювались в зоні геодинамічно активного розлому і за час їх проведення було зафіксовано більше 10-ти різких бухтоподібних аномалій – провісників місцевих землетрусів з амплітудами змін, в десятки і сотні разів більшими від фонових, виявлено нові – крипові, більш ранні по часу провісники таких землетрусів, то ЕМЕ дослідження в також досить сейсмоактивному районі Виноградова, де тектонічно активні структури фундаменту перекриті потужною кількасметровою товщою річкових наносів Тиси, не дали поки що нічого, крім добових і сезонних варіацій.

По друге, це паралельна постановка на пунктах спостережень ЕМЕ та інших геофізичних моніторингових досліджень. Адже, оскільки походження ЕМЕ та інших геофізичних аномалій одинакові, а завад – суттєво різні, то ставлячи поряд комплексні дослідження, можна при спільному аналізі отриманих даних ефективно усунути такі завади і виділити корисний сигнал природного походження. При цьому буде отримана також нова надзвичайно важлива інформація про природу і характеристики ЕМЕ та інших геофізичних ефектів, а також про природу, походження і характеристики електромагнітних, акустичних, мікросейсмічних та інших завад.

Тепер вкажемо більш детально на перспективи застосування ЕМЕ методу при проведенні геодезичних досліджень. Перша задача, яка може бути успішно розв'язана – це визначення на основі об'єктивних ЕМЕ даних стійкості вже існуючих геодезичних реперів, і результати наших досліджень на РГС у Закарпатті яскраво ілюструють можливості ЕМЕ методу у її розв'язанні.

Друга задача (блізька за своєю ідеєю до першої), для розв'язання якої перспективним є використання ЕМЕ методу – це вибір місць під закладання нових геодезичних та GPS реперів. Не викликає сумнівів, що виявлена на допроектній стадії наявність в районі досліджень чи на досліджуваному об'єкті геоактивних зон

дозволить спроектувати набагато більш раціональну і ефективну геодезичну мережу. Наприклад, при загланованих геодезичних дослідженнях в районі Чорногори і обсерваторії на горі Піп-Івін планується закласти мережу геодезичних реперів вздовж гребеня Чорногірського хребта. А оскільки цей хребет перетинається кількома геологічно закартованими глибинними розломами, сучасна геодинамічна активність яких підтверджується місцевими землетрусами останніх років, необхідно провести ЕМЕ знімання в цій зоні і вибрати місця закладання геодезичних реперів так, щоб вони не попадали в ці геоактивні зони (оскільки за рахунок їх нестійкості отримувана інформація буде неякісною), а знаходились поряд, на бортах таких геоактивних зон, але вже в місцях, де відсутня геодинамічна активізація. Це дозволить в подальшому надійно контролювати процеси як у самих геоактивних зонах, так і на ділянках між ними, і тим сяям вивчити порівняльну активність геодинамічних процесів в спокійних зонах і в зонах активізації цього району.

Третя задача, ідея якої випливає з другої – це використання ЕМЕ методу для обґрунтованої просторової інтерполяції геодезичних даних. Вона сформульована нами, як розвиток робіт О.Смірнової по врахуванню тектоніки при інтерполяції даних нівелювання. Адже відомо, що геодинамічні процеси просторово є нерівномірно інтенсивними, і на просторовий розподіл їхньої інтенсивності сильно впливають особливості тектонічної будови досліджуваних регіонів. З іншої сторони, відомо, що сучасна геодинамічна активність різних тектонічних структур буває різною в порівнянні з їх активністю в геологічному минулому, тому для обґрунтованої інтерполяції геодезичних даних самої лише тектонічної та геологічної інформації не досить. Дуже важливими тут стають геоморфологічні та геофізичні дані, які дозволяють враховувати нео- та сучасну геодинамічну активність даних тектонічних структур. Власне в якості одного з таких найбільш мобільних та ефективних геофізичних методів нами пропонується ЕМЕ метод, можливості якого в дослідженні сучасної геодинамічної активності різних зон проілюстровані вище. Зокрема, дані цього методу, на нашу думку, значно б допомогли у просторовій інтерполяції горизонтальних рухів на полігоні в районі Сваляви, а також у просторовій інтерполяції даних нівелювань по профілях у Закарпатті.

Підсумовуючи, зазначимо, що геоелектромагнітноемісійний метод завдяки своїй мобільноті, дешевизні та ефективності є дуже перспективним в дослідженні локальних геодинамічних процесів, дає вже зараз важливі результати, і при подальшому розвитку та вдосконаленні здатен дати результати ще цінніші, особливо в комплексі з іншими методами.