

ділення УДП і Мониторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Тези доп. VIII Між. наук. конф. Київ, 2007. - К. 2007. 5.
Набуєва М.В. Морфологічні критерії та генезис сучасних ґрунтів України. - К., 1999.

Надійшла до редакції 17.01.08.

УДК 550.834

Д. Безродний, асист., О. Ляшенко, канд. фіз.-мат. наук, В. Велешук, асп.,
А. Онанко, канд. фіз.-мат. наук, Ю. Онанко, магістр

АКУСТИЧНА ЕМІСІЯ В КВАРЦИТАХ КРИВОРІЗЬКОЇ НАДГЛИБОКОЇ СВЕРДЛОВИНИ

Досліджено ефекти акустичної емісії, що виникають під впливом термо механічних напруг у кварциті. Виявлено імпульси пружних хвиль від мікротріщин-емітентів, які, згідно, зв'язані із змінюванням пружної рівноваги в кварциті. Effects of acoustic emission under thermal-mechanical strains in quartzite are investigated. Elastic waves pulses are discovered from micro fractures that of probably connected with elastic balance in quartzite.

Вступ. Тензорні поля геофізичних параметрів геологічного середовища та характеристики його напружено-деформованого стану представляють собою випадкові поля. Структура прірської породи, її фізичні властивості, особливості термічного ініціюючого впливу визначають динаміку процесу локальної перебудови і тип акустичної емісії (АЕ) – дискретна чи неперервна. Основними джерелами АЕ є залишкові механічні напруги на границях розділу, міжзернові процеси тертя, утворення тріщин, двійникування кристалічної решітки, фазові перетворення. Для виникнення АЕ потрібна ініціююча зовнішня сила, що за рахунок фізичних механізмів, призводить до надлишкових локальних деформацій прірської породи [1].

Побудова моделей згаданого явища, що відповідають термічному впливу на прірську породу, з відомою структурою, дозволяють отримувати додаткову унікальну інформацію [2], що не може бути отримана іншими методами, зокрема різноманітними акустичними та сейсмоакустичними (інваріантно-поляризаційним). Останні дають можливість визначати пружні сталі C_{ij} , пружну симетрию прірських порід, оцінювати кльісно диференціальний і інтегральний коефіцієнт пружної анізотропії A і параметри анізотропії розповсюдження швидкостей пружних хвиль v_{11} і v_{12} , тощо, але точної інформації про поточну зміну станів локальної підсистеми порушень структури прірської породи не дають, на відміну від АЕ.

Дана робота присвячена вивченню динаміки неоднорідного термального впливу створеного потужним імпульсним наносекундним лазером у дисперсних твердих тілах, зокрема у кристалічних прірських породах – кварцитах Криворізької надглибокої свердловини (КНГС) і є продовженням роботи [2].

Зразки. В якості об'єкту досліджень обрані кварцити КНГС з глибини $h = 2300$ м, які зазнали інтенсивних динамометаморфічних процесів, що привело до утворення системи тріщин L-типу.

Експеримент. Загальне підсилення реєструючої апаратури на основі спеціалізованого акустоемісійного приладу АФ-15 було 80-70 дБ. Потужність імпульсу рубінового лазера $I = 300$ МВт/см². Тривалість дії імпульсу рубінового лазера $t = 20$ нс з довжиною хвилі $\lambda = 694$ нм. Площа лазерної плями була $S_0 = 1 \times 1$ мм².

Створений рубіновим лазером короточасний термічний вплив на кварцит призвів до локального розплаву поверхні. Після припинення дії лазерного випромінювання застигання розплаву почалося саме з поверхні (найефективніший тепловідвід), а розширена (розплавлена) нижня частина кратеру створила додаткові стисаючі механічні напруги, що "зтягують" центральну частину поверхні кратеру в глибину породи. При опроміненні протилежних сторін кварциту амплітуда акустичного відгуку значно відрізнялася, як наслідок тонкошаруватості текстури кварциту і наявності анізотропії пружних характеристик.

Обговорення. У основу методу АЕ покладена реєстрація спонтанного випромінювання породою хаотичних імпульсних механічних хвиль напруг, що мають шумовий характер. Ці хвилі викликані внутрішньою локальною перебудовою структури породи. Під джерелом АЕ розуміють локальний об'єм прірської породи, в якому відбувається не оборотна динамічна локальна перебудова структури породи. Основними джерелами АЕ є утворення тріщин, процеси тертя, фазові перетворення, двійникування кристалічної решітки. Важливо відмітити, що для виникнення АЕ потрібна зовнішня сила, що безпосередньо, або за рахунок фізичних механізмів, призводить до надлишкових локальних деформацій породи. Міцність породи визначається середньостатистичною величиною міжатомних сил. При розриві зв'язку атоми не можуть вільно розлетітися в різні боки, оскільки цьому заважають сусідні атоми, які своїм впливом намагалися повернути "уткачів" на початкове місце. Відбувається процес, схожий на підземний вибух. В результаті атоми в місці розриву зв'язку починають коливатися щодо свого початкового положення, передаючи ці коливання сусіднім атомам. Масе місце пружне коливання локальної області в породи та, відповідно, розповсюджується пружна хвиля.

Вид АЕ процесу суттєво залежить від структури породи, її фізичних властивостей. АЕ ділиться на два основні типи: неперервна та дискретна (вибухова). При динамічному механічному (ультразвуковому) навантаженні, коли за 1 секунду здійснюється до $\sim 10^5$ повних циклів навантаження невідповідність часів релаксації системи та періоду навантаження призводить до виникнення тривалої неперервної АЕ. Неперервна АЕ виникає при накладанні в час багатьох електричних імпульсів, тобто коли масе місце їх перекриття: $(t_{n+1} - t_n) < t$, де t – час згасання n -ого імпульсу, t_{n+1}, t_n – час закінчення n -ого та $n+1$ -ого імпульсу. Реєструється неперервна АЕ, в якій накладання імпульсів відбувається незалежно від пройдених акустичними хвилями шляхів від різних джерел, тобто в часі відбувається накладання акустичних сигналів АЕ. Дискретна (вибухова) АЕ означає що два послідовних електричних імпульси не накладаються один на одного. Дискретна АЕ – випадкова відповідність імпульсів, для якої інтервал часу між імпульсами більший часу їх згасання, тобто виконується умова: $(t_{n+1} - t_n) > t$.

Співставлення акустичного відгуку в кварциті, зображеному на рис.1а, з часовим терміном дії імпульсу рубінового лазера інтенсивністю $I = 300$ МВт/см², зображеному на рис.1б, та розмірами зразка вказують на імовірне формування 2-го та 3-го "максимумів" (накладення в часі імпульсів) через механізм АЕ, оскільки часові затримки їх появи та довжина кінцевого сформованого імпульсу не можуть бути пояснені в рамках фототермопружного механізму [3]. Швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль в кварциті була $v_{11} = 0,028$ м/5.2 мкс ≈ 5390 м/с. Модуль пружності

кварциту КНГС $E=79,46$ ГПа, абсолютні значення E найбільше в напрямках, вздовж яких концентрація орієнтованих тріщин є найменшою.

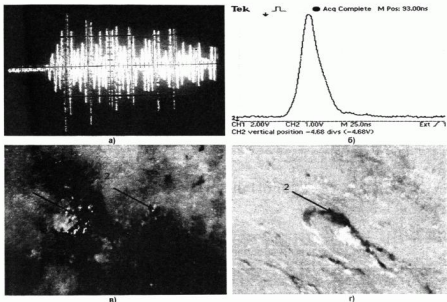


Рис. 1. а) Опромінювання кварциту рубіновим лазером; 1 В/под, 10 мкс/под; б) тривалість дії імпульсу рубінового лазера $t = 20$ нс з довжиною хвилі $\lambda = 694$ нм; в) поверхня плагіогранітогенейса після лазерного опромінювання (x250); г) поверхня кварциту після лазерного опромінювання (x 250)

На рис. 1в наведена поверхня плагіогранітогенейса після лазерного опромінювання (x250), на якій видно різницю в тріщиноутворенні від інтенсивності прикладених динамотермальних напруг σ . При інтенсивності лазерного опромінювання $I = 1500$ МВт/см² (1) відбувається інтенсивне тріщиноутворення смугового напрямку, при інтенсивності лазерного опромінювання $I = 300$ МВт/см² (2) утворюється лише слабка система тріщин, локалізована в межах окремого мінерального зерна.

На рис. 1г наведена поверхня кварциту після лазерного опромінювання. Неоднорідний короточасний термічний вплив з розплавом поверхні був створений рубіновим лазером. Даний процес за набором часових фаз імітує «виверження вулкану». Відмінність полягає в тому, що розплав шахти відбувається з поверхні, а не з середини зразка. Тим не менш, після припинення дії лазерного випромінювання застигання розплаву починається саме з поверхні (найефективніший тепловідвід), а розширена (розплавлена) нижня частина шахти створює додаткові стискаючі механічні напруги, що «втягують» центральну частину поверхні шахти вглиб зразка при застиганні.

Амплітуда сигналів високоенергетичної дискретної з великим часом загасання АЕ при тріщиноутворенні, яка пропорційна розміру мікротріщин і площі їх розкриття, більше в $\sim 10^4$ разів в порівнянні з неперервною АЕ при русі дислокацій. Складна форма зареєстрованого акустичного відгуку вказує на кілька діючих одночасно, або по чергову в часі механізмів трансформації неоднорідного термічного впливу в механічні хвилі напруг (акустичні хвилі).

Послідовність в часі механізмів акустичної емісії при описаних вище процесах є наступна – 1) АЕ при розплаві поверхні кварциту – фазовий перехід тверда-рідка фаза, 2) АЕ при застиганні розплаву – фазовий перехід рідка-тверда фаза, 3) АЕ при тріщиноутворенні. Процесами при фазових переходах тверда фаза-газ та газ-тверда фаза через відносно «довгий» – наносекундний імпульс лазера можна знехтувати.

За умов експерименту фазові переходи відбуваються достатньо швидко – за час, що може бути порівняний з часом лазерного впливу $t = 20$ нс (рис. 1б), вірогідно, що формування «акустоemisійної частини» акустичного відгуку пов'язано саме із тріщиноутворенням. Підхід до АЕ як до емісії двох типів – дискретної (високоенергетичної) та неперервної (низькоенергетичної) невідомий для випадків, коли часові довжини окремих актів АЕ перевищують час проходження хвилі по зразку t , а лінійні довжини цугів хвиль λ перевищують лінійні розміри породи L . Тому на рис. 1а спостерігаються «накладені» імпульси високоенергетичної дискретної АЕ з великим часом загасання, сформовані в суттєво різні моменти часу від різних джерел АЕ.

Мікротріщини встигають сформуватися за час, який значно менший інтервалу спостереження, що пояснює існування «рівноважної» форми розподілу в нерівноважному стані. Найімовірнішими причинами виникнення мікротріщин є локальні порушення, які виникають у результаті концентрації напружень на обмежених ділянках внаслідок пружної анізотропії кварциту. Наслідком цього є розвиток крихких порушень у вигляді тріщин сколювання. Частина таких тріщин утворюється шляхом сколювання структурних дефектів у зону найбільших сколюючих напруг кварциту, найбільш поширеними дефектами для кварциту є газово-рідкіні включення [4-6].

Дислокації, як лінійні дефекти кристалічної ґратки, характеризуються своїм полем пружних напружень σ_{ij} , що проявляє екрануючий вплив на локальне поле вершин мікротріщин. Аналіз умов дислокаційних перетворень у вершині мікротріщини та вивчення закономірностей взаємодії дислокацій з пружним полем вершин мікротріщини являється ключовим моментом для розуміння механізму тріщиноутворення в кварциті, важливим є вплив дислокаційного ансамблю на процес релаксації напруж., що зумовлює стабілізацію та динамічне розповсюдження субмікротріщини в кварциті. Своєрідністю спектру АЕ кварциту є, на відміну від цементованих осадових порід із гранулярною пористістю, з одного боку, та магматичних порід з низькою первинною пористістю, з іншого, наявність багатьох вторинних максимумів. Їх присутність свідчить як про розміття речовинного складу і структури породи, того чи іншого набору аллотигених і аутигенних мінералів, складу цементу, текстурних особливостей, так і передає, певною мірою, характер перебігу динамічних і каталітичних процесів.

З огляду на велику інформаційну насиченість щодо генезису кварцитів, особливості прояву АЕ є важливими для розвитку теорії деформації геологічного середовища, утворення і розповсюдження тріщин, тому необхідні для фізичного обґрунтування використання методу АЕ для здійснення неруйничого контролю структури кварциту.

1. Гусев О.В. Акустическая эмиссия при деформировании монокристаллов тугоплавких металлов. - М.: Наука, 1982. 2. Безродий Д.А., Шабатура О.В., Лещенко О.В. та ін. Акустична емісія в гітерогенних полікристалах при неоднорідному термічному впливі/ Вісник Київського ун-ту. Сер. Геологія. - 2007. - вип.41-42. 3. Гусев О.В., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. - М.: Физ. Ред. Физ.-мат. лит., 1991. 4. Волоттерман В.И., Куконов В.С., Томилкин Н.Г. и др. Статистика микротрещин в гетерогенных материалах (граниты)/ Физика твердого тела. - 2004. - т.46, вып.10. 5. Александров К.С., Прохоренко Г.Т. Анализ трещин упругих свойств минералов и горных пород. - Новосибирск: СО РАН, 2000. 6. Вижва С.А. Геофизичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. - Київ: Обр, 2004.

Надійшла до редакції 29.02.08.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 550.8.028

С. Вижва, д-р геол. наук, Л. Миколенко, асп.

МОНІТОРИНГ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕРИТОРІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДАНИХ ДЗЗ ТА ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ (НА ПРИКЛАДІ ПРАВОБЕРЕЖЖА М. КИЄВА)

Наведено результати робіт по створенню системи геофізичного моніторингу зсувонебезпечних процесів із використанням геоінформаційних систем та матеріалів дистанційного зондування Землі

The results of activity on development of the system for geophysical monitoring of dangerous sliding processes using the geoinformation systems and the Remote Sensing data are represented

Постановка проблеми у загальному вигляді. В межах Київської міської агломерації широко розповсюджені небезпечні явища природного, техногенно-природного і техногенного походження. Одним із найбільш небезпечних і найпоширеніших є екогенні геологічні процеси, зокрема, зсуви, які розвинені, в основному, на правобережній ділянці міста. В умовах значного техногенного навантаження наслідки активізації зсувних процесів можуть стати великими складними і непередбачуваними. Найефективнішими методами контролю та оцінки зсувонебезпечних територій є геофізичні методи, важливою перевагою яких є дослідження зсувних ділянок в умовах природного залягання та необхідною мірою деталістості і глибини. Специфіка досліджень зсувних процесів в межах міських територій обумовлює необхідність використання методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Можливості цих методів сьогодні дозволяють широко використовувати їх для виявлення, картографування, контролю та здійснення прогностичних оцінок стосовно активізації небезпечних екогенних процесів. Використання методів ДЗЗ нерозривно пов'язане із застосуванням геоінформаційних систем (ГІС), які надають змогу використовувати невпорядковану геофізичну, геологічну, підгеологічну інформацію в поєднанні з даними аерокосмічних зйомок і являють собою незамінний інструмент для аналізу та візуалізації результатів даних. Важливою особливістю ГІС-технологій є робота з просторово-прив'язаними даними, що дозволяє аналізувати результати досліджень, виконаних в різні роки та на різних територіях.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання застосування геофізичних методів для оцінки стану зсувонегеологічного процесу детально розглянуті в роботах [3, 4, 6, 8]. В загальному вигляді комплекс геофізичних методів включає чіп, магнітометричні, термометричні та короткі дослідження. Аерокосмічний аспект дослідження небезпечних екогенних процесів не досить повно освітлений в сучасних публікаціях. В значній мірі це пов'язано із тим, що до невеликого колу користувачів і науковців. Серед сучасних вітчизняних робіт на цю тему слід відзначити дослідження В.І. Ляльча, А.Г. Мичака, В.С. Готиняка, О.Д. Азімова [1, 2, 5, 7, 10]. Відомі російські [9] та зарубіжні [11] видання, присвячені аналізу можливостей даних дистанційного зондування Землі в задачах моніторингу зсувів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідження зсувних процесів м. Києва в різні роки проводилися у ГДРПГ "Львівгеологія", Інституту геологічних наук НАН України, ДНВП "Українгеодезія", КДПГ "Геосервіс". Вирішенням цієї проблеми займалися видатні геологи К.М. Феоділаков, О.П. Павлов, П.А. Тутковський, С.Г. Кокляк, П.Я. Армашевський, В.М. Чирвинський, В.І. Луцицький, Р.Р. Вірижівський, Б.Л. Ляльчов, С.В. Оплоков, М.Ф. Погребов, Л.Г. Каманін, І.М. Киричко, А.М. Дранников, С.П. Смелянова, Ф.В. Котлов, М.Г. Демчишин, інші, територія Києва в геологічному і геофізичному плані залишається недостатньо вивченою, що передумовою шість результатів досліджень зберігаються в аналоговому вигляді в архівах різних організацій, що значно ускладнює проведення аналізу та оперативного контролю за зсувними процесами. Це зумовлює необхідність створення єдиної аналітичної програмно-керованої бази даних, яка має забезпечувати зберігання, візуалізацію, аналіз інформації.

© С. Вижва, Л. Миколенко, 2008