

глинистості ($k_m = 21,5\%$), то при наявності закритих водонасичених пор їхня пористість за РК збільшена і вони знаходяться правіше (ближче до діагональної лінії), що ми і спостерігаємо.

Характер насичення пластів 27 і 48 за результатами ЕК не визначений. Пласт 27 має підвищену активність за ГК, яка викликана присутністю органіки. Тому глинистість за ГК для цього пласта не визначалась. Пористість за АК складає 19,5%, нейтрона пористість k_n^{HK} (з урахуванням глинистості і бітумінозності) – 17% (загальна пористість є ще меншою). Як видно із рис. 4, пласт 27 за кросплотом $k_n^{PK} \leftrightarrow k_n^{AK*}$ є вповнено газонасиченим. Пласт 48 (пісковик) лежить біля діагональної лінії і за цією ознакою є водонасиченим.

Відмітимо, що пласти-колектори 45 і 49 (пісковики) за даними $k_n^{PK} \leftrightarrow k_n^{AK*}$ є газонасиченими, тоді як за ЕК вони доносні. Для усунення цього протиріччя потрібні додаткові дослідження.

Висновок. Розглянуті результати і приклади показують, що розвинений апарат визначення пористості на основі НК і АК з використанням запропонованого мультиплікативного способу врахуванням глинистості за ГК є досить ефективним. Це дозволяє підвищити інформативність і надійність каротажу, отримувати необхідні результати як в необсаджених, так і в обсаджених стальною колоною свердловинах. Зокрема, спільний аналіз каротажних даних на основі комплексу НК+АК дозволяє розглянути ускладнені випадки виділення газонасичених пластів, визначення характеру насичення яких за даними ЕК неоднозначне.

1. Определение емкостных свойств в литологии пород в разрезах нефтегазовых скважин по данным радиоактивного и акустического каротажа / И.В. Головацкая, Ю.А. Гупин, Ф.Х. Билчиева и др. Калинин. 1984. 2. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин. Справочник. Под ред. В.М. Добрынина – М., 1988. 3. Кулик В.В., Бондаренко М.С., Кашуба Г.О., Федоры Р.Ф. Спільне використання методів радіоактивного і акустичного каротажу для визначення пористості пластів в обсаджених свердловинах // Вісн. Київ. ун-ту, сер. "Геологія", 2007, Вип. 41-42. 4. Козар В.Ф., Белоконь Д.В., Козар Н.В., Смирнов Н.А. Акустические исследования в нефтегазовых скважинах – состояние и направления развития // НТБ "Каротажник". Тверь, 1999. Вип. 63. 5. Парсон С. Дж. Справочник по интерпретации данных каротажа. – М., 1966.

Надійшла до редколегії 25.02.08.

УДК 660.834

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

АКУСТИЧНА ЕМІСІЯ В ПІСКОВИКУ ПРИ ТЕРМІЧНОМУ ВПЛИВІ

Досліджено ефекти акустичної емісії, що виникають під впливом термо механічних напруг у крупнозернистому пісковіку. Вивалено імпульси пружних хвиль від мікротріщин-емітентів, які, вірогідно, зв'язані із існуванням пружної рівноваги в пісковіку.

Effects of acoustic emission under thermal-mechanical strains in gritstone are investigated. Elastic waves pulses are discovered from microcracks that of probably connected with elastic balance in gritstone.

Вступ. Геологічна структура пісковіку, особливості термічного ініціюючого впливу визначають динаміку процесу локальної перебудови і тип акустичної емісії (АЕ). Під джерелом АЕ розуміють локальний об'єм прської породи, в якому відбувається необоротна динамічна локальна перебудова структури породи. Основними джерелами АЕ є залишкові механічні напруги на границях розділу, мікзерної процесу тертя, утворення тріщин, дайнікування кристалічної решітки, фазові перетворення. Для виникнення АЕ потрібна ініціююча АЕ зовнішня сила, що за рахунок фізичних механізмів, призводить до надлишків локальних деформацій прської породи [1].

Окремі моделі явища, що відповідають термічному впливу на прську породи, з відомою структурою, дозволяють отримувати додаткову унікальну інформацію [2], що не може бути отримана іншими методами, зокрема різноманітними акустичними та сейсмоакустичними (інваріантно-поляризаційним). Ці методи дають можливість визначати пружні сталі C_{11} та пружну симетрію прських порід, оцінювати кількісно диференціальний і інтегральний коефіцієнт пружної анізотропії А та параметри анізотропії розповсюдження швидкостей пружних хвиль v_{11} і v_{12} , розрізняти вплив недосконалої будови та регулярної упорядкованості структурних елементів прської породи і їх неоднорідностей, але точної інформації про поточну зміну станів локальної підсистеми порушень структури прської породи не дають, на відміну від АЕ.

Робота присвячена вивченню термального впливу у крупнозернистому пісковіку і є продовженням [2]. Термічний вплив з розплавом поверхні був створений рубиновим лазером.

Зразки. В тектурному малюнку досліджуваного крупнозернистого пісковіку № 27959 спостерігається перехід від брекчівання до часткової міліонізації та філонітизації. Розмір пор у крупнозернистому пісковіку був $d = 50$ мкм [3].

Експеримент. Загальне підсилення реєструючої апаратури на основі спеціалізованого акустоемісійного приладу АФ-15 було 60-70 дБ. Поверхня крупнозернистого пісковіку була світло неоднорідна за коефіцієнтом поглинання для випромінювання лазера. Потужність імпульсу лазера $I = 300$ МВт/см². Тривалість дії імпульсу рубинового лазера $t = 20$ нс з довжиною хвилі $\lambda = 694$ нм. Площа лазерної плями була $S_0 = 1 \times 1$ мм².

Створений рубиновим лазером короточасний термічний вплив на пісковик 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 стискаючі механічні напруги, що, «втягують» центральну частину поверхні кратеру в глибину пісковіку. При опроміненні протилежних сторін пісковіку амплітуда акустичного відгуку значно відрізнялася. Причини цього могли бути значна анізотропність крупнозернистого пісковіку вздовж осі лазерного променя.

Обговорення. На рис. 1а наведена фотографія акустичного відгуку при опроміненні рубиновим лазером інтенсивністю $I = 300$ МВт/см² крупнозернистого пісковіку № 27959, що супроводжувалось створенням неоднорідних термо механічних напруг з проплавом кратеру та викидом на поверхню зразка розплаву. Співставлення акустичного відгуку в крупнозернистому пісковіку, зображеному на рис. 1а, з часовим терміном дії імпульсу рубинового лазера інтенсивністю $I = 300$ МВт/см², зображеному на рис. 1б, та розмірами зразка вказують на формування 2-го та 3-го

„максимумів” (накладених в часі імпульсів) через механізм АЕ, оскільки часові затримки їх появи та довжина кінцевого сформованого імпульсу не можуть бути пояснені в рамках фототермопружного механізму [4].

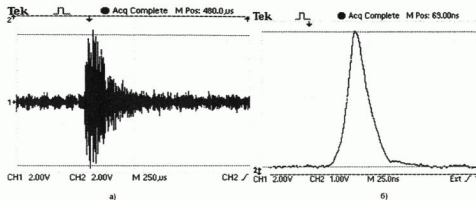


Рис. 1. а) Опромінування крупнозернистого пісковику лазером інтенсивністю $I = 300 \text{ MBT/cm}^2$; 2 В/под , 250 мкс/под ; б) Тривалість дії імпульсу рубінового лазера $t = 20 \text{ нс}$ з довжиною хвилі $\lambda = 694 \text{ нм}$

На рис. 2а зображена поверхня крупнозернистого пісковику після лазерного опромінування. На рис. 2б наведена осцилограма сигналу в крупнозернистому пісковику.

Глибина кратеру проплаву Δh при сталій потужності і часі опромінування лазером лімітована локальною теплопровідністю та встановленням „тимчасово-рівноважного” розподілу градієнтів температур ΔT . Глибина проплавлення на рис. 2а оцінена $\Delta h = 10 \text{ мкм}$. Це відповідає наближенню, що ширина стимулюючого імпульсу більша ніж глибина кратера, який утворюється під дією цього імпульсу, а сам імпульс не має вираженої поперечної структури [2]. В цьому випадку динаміка тиску (в залежності від часу) наступна: на початку руйнування тиск швидко зростає, а по завершенню дії імпульсу зменшується миттєво на величину створеного лазером світлового тиску. Далі зменшення тиску стає більш повільним, для наносекундних часів впливу лазера важлива поява акустичного відгуку АЕ в часовому діапазоні $t = 200 \text{ мікросекунд}$.

Складна форма зареєстрованого акустичного відгуку вказує на кілька діючих одночасно, або по чергово в часі механізмів трансформації неоднорідного термчного впливу в механічні хвилі напруг - акустичні хвилі.

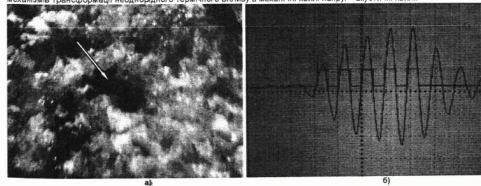


Рис. 2. а) Поверхня крупнозернистого пісковику після лазерного опромінування ($x 250$); б) Осцилограма сигналу в крупнозернистому пісковику з блоку перетворювача

Важливим є правильне визначення можливих механізмів АЕ при описаних вище процесах. Послідовність в часі є наступна – 1) АЕ при розплаві поверхні пісковику - фазовий перехід тверда-рідка фаза, 2) АЕ при застиганні розплаву - фазовий перехід рідка-тверда фаза, 3) АЕ при тріщинотворенні. 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 $t = 20 \text{ нс}$ на рис. 1б, відповідно, що формування „акустоємійної частини” акустичного відгуку пов'язане саме із тріщинотворенням. Підхід до АЕ як до емісії двох типів – дискретної (високоенергетичної) та неперервної (низькоенергетичної) нівельюється для випадків, коли часові довжини окремих актів АЕ і перевищують час проходження хвилі по зразку t , λ лінійні довжини цугів хвиль λ – лінійні розміри породи L . На рис. 1а спостерігаються

„накладені” імпульси високоенергетичної дискретної АЕ з великим часом загасання, сформовані в суттєво різні моменти часу від різних джерел АЕ.

Виміряна в імпульсному режимі усереднена групова швидкість розповсюдження подовжніх хвиль в крупнозернистому пісковикі була $v_{11} = 0,029 \text{ м/}8 \text{ 23 мкс} = 3520 \text{ м/с}$, поперечних хвиль $v_{22} = 2300 \text{ м/с}$. Враховуючи величину об'ємної густини $\rho = 2,56 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ [3; 5], визначено модуль пружності $E = 31,72 \text{ ГПа}$ та модуль зсуву $G = 13,54 \text{ ГПа}$ крупнозернистого пісковика.

Динамічний та динамотермальний метаморфізм, що накладається на породу, приводить до структурно-механічного перетворення її при різних рівнях тисків та температур в анізотропних полях напружень σ . При температурі $T > 870 \text{ К}$ руйнування зерен відбувається шляхом плавної необмеженої течії, при $T = 870 \text{ К}$ та $P = 10 \text{ кБар}$ мікзернові тріщини перестають виникати. При температурі $T < 870 \text{ К}$ при тисках $P = 2 \text{ кБар}$ формується розгалужена сітка тонких тріщин, що поступово концентруються в смуги, розвиток яких закінчується утворенням в їх площині магістральних тріщин. При більш високих тисках P сухе тертя на порядок вище міцності σ_0 , тому магістральні тріщини являють собою площини суцільного руйнування.

Амплітуда сигналів високоенергетичної дискретної з великим часом загасання АЕ при тріщиноутворенні, яка пропорційна розміру мікротріщин і площі їх розкриття, більша в $\sim 10^4$ разів в порівнянні з неперервною АЕ при русі дислокацій [1; 6]. Перша стадія локального руйнування пісковикі є накопичення незв'язаних мікротріщин першого рівня до критичної концентрації мікротріщин S_{crit} . Потім мікротріщини починають збільшуватися, ініціюючи формування нових тріщин, які утворюють другий рівень. Накопичення тріщин триває доки, поки їх концентрація знову не досягне нового критичного значення S_{crit} , що призводить до виникнення тріщин третього рівня. Таким чином мікротріщини наступного ієрархічного рівня формуються тільки з мікротріщин попереднього. Мікротріщини встигають сформуватися за час, який значно менший ніж інтервал 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 мінеральних складових пісковикі. Наслідком цього є розвиток крихких порушень у вигляді тріщин сколювання. Частина таких тріщин утворюється шляхом сповзання структурних дефектів у зону найбільших сколюючих напружень пісковикі σ_1 , який потрапив у поле неоднорідних напружень σ , найбільш поширеними дефектами для кристалів кварцу є газово-рідинні включення [6].

При певних умовах критичною стадією руйнування пісковиків є стадія субкритичного росту мікротріщин з суцільною мікропластичною деформацією ϵ , що локалізована в їх вершинах. При цьому істотно руйнуюча напруження σ_0 та ефективна поверхнева енергія проявляють експоненціальну залежність від температури T . На відміну від випадку крихкого руйнування, який контролюється параметрами дислокаційної мікротечії і характеризується температурною залежністю приведених напружень зсуву σ_1 на відповідних площинах ковзання дислокацій. Дисиплятивні витрати пружної енергії F_{sp} мікротріщини внаслідок руху екрануючої дислокаційної конфігурації в пластичній зоні на стадії субкритичного росту мікротріщини будуть визначати динаміку руху мікротріщини та механізм руйнування пісковикі.

Взаємна кристалграфічна орієнтація площин розповсюдження мікротріщини і ковзання дислокацій, параметри дислокаційної структури, рухомість дислокацій визначають додаткові енергетичні витрати та будуть контролювати процес руйнування пісковикі. Дислокації, як лінійні дефекти кристалічної ґратки, характеризуються своїм полем пружних напружень σ_{tr} , що проявляє екрануючий вплив на локальне поле вершини мікротріщини, який також необхідно враховувати при реалістичному описі процесу динамічного руйнування пісковикі. Аналіз умов формування дислокаційного ансамблю в вершині мікротріщини та вивчення закономірностей взаємодії дислокацій з пружним полем вершини мікротріщини являється ключовим моментом для розуміння механізму руйнування пісковикі, є важливим вплив дислокаційного ансамблю на процес релаксації напружень σ , що зумовлює стабілізацію та динамічне розповсюдження мікротріщин в пісковикі.

Зміна механізму руйнування від пластичного до крихкого є наслідком втрати стійкості квазірівноважної системи „вершина мікротріщини – екрануюча дислокація”. Екрануючі дислокації екрану необхідні для гальмування та зупинки критичних мікротріщин Гріффітса в матриці цементованих осадкових порід. Механізми дислокаційної мікротечії в пружному полі вершин субкритичних мікротріщин σ визначають швидкість протікання дисиплятивних процесів і контролюють процес динамічного руйнування в пісковикі.

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 неруйнівного контролю структури цементованих осадкових порід із гранулярною пористістю.

1. Гусев О.В. Акустическая эмиссия при деформировании монокристаллов тугоплавких металлов. - М., 1982. 2. Бездарный Д.А., Шабатура О.В., Лещинко О.В. та ін. Акустична емісія в гетерогенних плагіогенітах при неоднорідному термічному впливі // Вісн. Київ. ун-ту. Сер.: Геологія, 2007. - Вип. 41-42. 3. Александроє К.С., Петровічєв Г.Г. Анізотропія пружних властивостей мінералів та горних порід. - Новосибірськ, 2000. 4. Гусев О.В., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. - М., 1991. 5. Вилжа С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. - К., 2004. 6. Веттмардерн В.И., Куликов В.С., Томшин Н.Г. та др. Статистика микротрещин в гетерогенных материалах (граниты) // Физика твердого тела. 2004. - Т. 46. Вып. 10.

ПЕДОМАГНІТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕГАПОЛІСІВ УКРАЇНИ (ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ)

Розглянуто основи концепції урбогеофізичних досліджень. Представлено перші результати педомагнітних досліджень мегаполісів на прикладі Києва та Донецька.

The foundations of the conception of the urban geophysical investigations are considered. The first results of the pedomagnetic investigations of the megapolises are presented on an example of Kyiv and Donetsk.

Постановка проблеми. Економічна потужність та світова соціально-політична вагомість сучасних країн передусім пов'язані з розвитком промислово-виробничим комплексом. Звідси похідні такого виробництва – наявність