ISSN 1694-6065

ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР
НАН КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ

ПРОГНОЗ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ГОРНЫХ УДАРОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ

Материалы
Второго Международного симпозиума,
посвящённого 75 - летию НАН КР

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
№ 33 (3), 2018 г

БИШКЕК-2018

УДК 622.833.5

ОБОСНОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

М.С.Акматалиева, Д.К. Тажибаев
Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики

В статье предложен разработанный ультразвуковой метод определения остаточных напряжений в горных породах. Приведены результаты исследования остаточных напряжений предложенным новым методом.

Ключевые слова: горная порода, остаточное напряжение, ультразвук, поляризованная волна, метод

SUBSTANTIATION OF ULTRASONIC METHOD FOR DEFINITION OF RESIDUAL STRESSES IN ROCKS

Akmatalieva M. S., Tazhibaev D. K.
Institute of geomechanics and development of bowels of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

The developed ultrasonic method for determining residual stresses in rocks is proposed in the article. The results of the research of residual stresses by the proposed new method are given.

Key words: rock, residual stress, ultrasound, polarized wave, method

ТОО-ТЕКТЕРИНДЕГИ КАЛДЫКТУУ ЧЫҢАЛУУЛАРДЫ УЛЬТРАҮН МЕНЕН АНЫКТОО ЫКМАСЫН НЕГИЗДӨӨ

М.С.Акматалиева, Д.К. Тажибаев
Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Макалада тоо-тектериндеги калдыктуу чыңалууну аныктоодо жаңыдан иштелип чыккан ультраүндүү ыкма сунушталды. Жаңы ыкма (метод) менен изилдөөлөрдүн жыйынтыктары берилди.

Өзөктүк сөздөр: тоо-тектери, калдыктуу чыңалуулар, ультраүн, багытталган толкундар, ыкма

Тоолуу аймактарда минералдуу-сырьёлук ресурстарды өздөштүрүүдө эң башкы маселе болуп, тоо тектеринин чыңалып турган абалын жана тоо-тектеринин касиеттерин (мүнөздүү өзгөчөлүктөрүн) аныктоо эсептелет. Тоолуу жер силкинүү коркунучу бар аймактарда, тоо тегинин массивинин чыңалган абалына калдыктуу чыңалуулар олуттуу таасир көрсөтөт. Бул аймактарда, азыркы учурда калдык чыңалуулардын пайда болушунун жана бөлүштүрүлүшүнүн закон ченемдүүлүктөрү толук изилдене элек, ошондуктан калдыктуу чыңалуулардын тоо-тектеринин талкаланышына жана деформацияланышына тийгизген таасири абдан опурталдуу.

Жер силкинүү активдүүлүгү бар аймактарда кен массивинин чыңалган абалы көп учурларда магма жана гидротермалдуу түзүлмөлөрүнүн өзгөчөлүгүнөн келип чыккан тоо-тектериндеги калдык чыңалуулардын бирдей эместиги менен аныкталары көрсөтүлгөн [1]. Тоолуу аймактарда көпчүлүк учурларда массивде болгон аракеттеги чыңалуулардын горизонталь багыттагы түзүүчүсү, тикесинен кеткен түзүүчүдөн байкалаарлык ашып түшөрүн, массивде чыңалууларды прибордун жардамы менен изилдөөлөр көрсөттү. Горизонталь багыттагы чыңалуунун түзүүчүлөрү тикесинен кеткен чыңалуунун түзүүчүлөрүнө чоң болушу жана кен массивиндеги чыңалуунун бирдей эместиги, силкинүү коркунучу бар аймактардагы тоо-тектериндеги калдыктуу чыңалуунун өзүнүн жаратылышынын бирдей эместиги менен байланышкандыгын аракеттеги жана калдыктуу чыңалууларды бирдикте тажрыйбалык жол менен изилдөөлөрдүн негизинде К.Т.Тажибаев тарабынан көрсөтүлгөн [1].

Аракеттеги чыңалууларды жана ошондой эле калдык чыңалууларды аныктоочу белгилүү болгон жана кеңири таралган ыкмалардын (методдордун) жардамы менен аныктоону анализдеп көрүп ал ыкмалардын кээ биринин кемчиликтерине токтолсок, мисалы белгилүү болгон ультраүн ыкмасы (методу) туралуу айта турган болсок заттын экинчи жана үчүнчү дэңгээлдеги серпилгичтик мүнөздөмөлөрү ошондой эле калдык чыңалуунун таасирисиз жана анын таасиринин астында толкундун таралуу ылдамдыгы белгилүү болсо гана, анда чыңалууну аныктаганга мүмкүндүк берет [2].

Бул ультраүн методунун негизги кемчилиги болуп, анын көп эмгекти талап кылгандыгы жана аныкталып жаткан чыңалуунун тактыгынын аздыгы эсептелет. Сырткы күчтөрдүн таасиринде турган үлгүлөрдө калдык чыңалуу, материалдын серпилгичтик касиеттеринин маанилерин так эмес аныкталышына алып келет жана башка методдордун жардамы менен калдык чыңалуунун чоңдугун жана багытын аныктоого туура келет. Экинчи жагынан алып караганда ультраүн ыкмасы (методу) тоо-тектеринин чыңалуусун изилдөөдө үлгүлөрдү талкалабай, көбүрөөк маалымат бериши анын ыкчамдыгы

жана изилдөө ыкмасынын (методунун) тактыгы боюнча натыйжалуу деп эсептилинет. Ошондуктан биз бул ыкманын (методдун) татыктуу жактарын колдонуп, кемчиликтерине түзөтүүлөрдү киргизип иштеп чыктык. Багытталып туурасынан тараган ультраүн толкундарынын берилген аралыктан өтүү ылдамдыгы боюнча калдыктуу чыңалууну аныктоого боло тургандыгы далилденип жана жаңы ыкма үчүн патент алынды [3]. Сунушталган ыкма өз ара тик багыттар боюнча өткөн багытталган туурасынан тараган ультраүн толкунунун ылдамдыгынын чыңалууга жараша өзгөрүшүн өлчөөгө негизделген.

Тоо-тектериндеги калдыктуу чыңалууну аныктоодо ультраүндүү ыкманы (методду) негиздөөдө көптөгөн изилдөөлөр жүргүзүлдү. Алгачкы изилдөөлөрдө толкундун өтүү убакыттары боюнча калдык чыңалууну сапат жагынан эле баалап келгенбиз. Азыркы кезде К.Тажибаев аныктаган формуланын негизинде калдык чыңалуунун сандык маанисин эсептеп чыгарганга мүмкүнчүлүк түзүлдү [4]. Алгачкы изилдөөлөрүбүз негиздүү жана көрсөтмөлүү болуш үчүн тунук моделдерди башкача айтканда эпоксид желиминен жасалган үлгүлөрдөгү калдыктуу чыңалууну изилдөөдөн баштаганбыз. Калдыктуу чыңалууларды аныктоодо эң көрсөтмөлүү жана жетишээрлик так ыкма болуп оптикалык-поляризациялык ыкма эсептелгендиктен, бул ыкма менен жүргүзүлгөн изилдөөлөрдүн жыйынтыктарын, биздин маалыматтар менен салыштырып, бир эле үлгүнү эки ыкма менен изилдеп көрүп, алынган жыйынтыктар бири-бирине жакын экендигин аныкталды.

Катуу материалдарда калдыктуу чыңалуулар бар же жоктугун жана белгисин аныктап алуу үчүн калдык чыңалуунун ультраүн параметри (мүнөздөөчү чондук) негизделди. Туурасынан таралган (багытталган) ультраүн толкундарынын берилген аралыктан жарыш жана тик багыттардагы абалда өтүү ылдамдыктардын айырмасы боюнча б.а. убакыттардын айырмасы $T_{\Delta S} = T_{SP} - T_{SC}$ (1), боюнча калдыктуу чыңалуулардын чоңдугун жана белгисин аныктап алууга боло тургандыгы, тунук үлгүлөрдү изилдөөдө, аныкталды. Биринчи формуладагы айырма калдык чыңалуунун чоңдугуна жана белгисине жараша өзгөрө тургандыгы тажрыйба аркылуу тастыкталды. Ар кандай үлгүлөрдө калдык чыңалууларды изилдөөдөн алынган, тажрыйбалардын жыйынтыктарынын негизинде тегиздиктеги чыңалган абал үчүн (К. Тажибаев) чыңалуу формуласы төмөнкүдөй жазылат [4]:

$$\sigma = \frac{(T_{SP} - T_{SC})}{T_{SC}} K \quad (2),$$

K - чыңалуунун толкундук модулу;

σ - туурасынан таралган толкундун поляризация вектору боюнча багытталган нормалдуу калдык чыңалуу.

Формула (2) калдык чыңалуу жана өз ара тик багытта болго багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарынын берилге аралыктан өтүү убактыларынын айырмасынын ортосунда функционалдык көз карандылыкты байланыштырган формула болу эсептелет. Көлөмдүү катуу заттарда эки багыт жана өз ара тик багытта үч багыт боюнча үч октуу чыңалуу абалы пайда болот. Ушундай эк октуу жана үч октуу чыңалуу абалы учурунда, калдыктуу чыңалуун аныктоо үчүн биринчи кезекте, затта ультраүн толкунун өтү убактыларынын айырмасын салыштырма чоңдугун аныктоо зарыл, б.а калдык чыңалуу болбогон (сырткы күч жок) учурда T_{SO} чоңдугун аныкто керек. Андан кийин бул убакытты, затка сырткы күчтөр аракет кылга учурда, берилген аралыктан багытталган ультраүн толкунунун өтү убактысы менен салыштыруу керек, б.а. өз ара кесилишкен X,Y,Z багыттары боюнча алынган аралыктан сырткы күч жокто жана анын таасири астындагы багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарынын өтүү убактыларынын айырмасын аныктоо керек:

$$T_{\Delta SX} = T_{SX} - T_{SOX}, \quad T_{\Delta SY} = T_{SY} - T_{SOY}, \quad T_{\Delta SZ} = T_{SZ} - T_{SOZ}$$

Бул жерде $T_{\Delta SX}$, $T_{\Delta SY}$, $T_{\Delta SZ}$ - багытталган туурасынан таралган ультра үн толкунунун материалдын чыңалган жана чыңалуусуз (калдык чыңалуу жок кезде) абалындагы тийешелүү X,Y,Z октору багытында өтүү убактыларынын айырмасы;

T_{SX}, T_{SY}, T_{SZ} - тийешелүү X,Y,Z огунун багыттары боюнча туурасынан таралган багытталган ультраүн толкундарынын материалдын чыңалган абалындагы белгилүү аралыгынан өтүү убактысы (калдыктуу чыңалуу бар кезде);

T_{SOX}, T_{SOY}, T_{SOZ} - багытталган туурасынан таралган ультраүн толкунунун тиешелүү X,Y,Z ок багыттары боюнча чыңалуусуз материалдан өткөн убакыттары (калдык чыңалуусу жок).

Анда 2 -чи формуладан төмөнкү формулаларды алса болот:

$$\sigma_X = \frac{(T_{SZ} - T_{SOZ})}{T_{SOZ}} K_Z; \quad \sigma_Y = \frac{(T_{SX} - T_{SOX})}{T_{SOX}} K_X; \quad \sigma_Z = \frac{(T_{SY} - T_{SOY})}{T_{SOY}} K_Y \quad (3)$$

$$\sigma_X = \left(\frac{T_{SZ}}{T_{SOZ}} - 1\right) K_Z; \quad \sigma_Y = \left(\frac{T_{SX}}{T_{SOX}} - 1\right) K_X; \quad \sigma_Z = \left(\frac{T_{SY}}{T_{SOY}} - 1\right) K_Y \quad (4)$$

Төртүнчү формуладагы убакыттарды ылдамдык менен алмаштырып, тийешелүү багыттар боюнча тик багытталган (нормалдык) чыңалуунун формуласын алууга болот [4].

$$\sigma_X = (\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1)K_Z; \ \sigma_Y = (\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1)K_X; \ \sigma_Z = (\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1)K_Y \quad (5).$$

Бул жерде σ_X, σ_Y, σ_Z - тийешелүү X,Y,Z багыттарындагы нормалдык чыңалуулар;

K_X, K_Y, K_Z - X,Y,Z багыттарына тийешелүү чыңалуунун толкундук модулу;

V_{sx}, V_{sy}, V_{sz} - X,Y, Z багытында туурасынан таралган багытталган ультраүн толкундарынын чыңалуусу бар материалдын белгилүү абалыгында аныкталган ылдамдыгы;

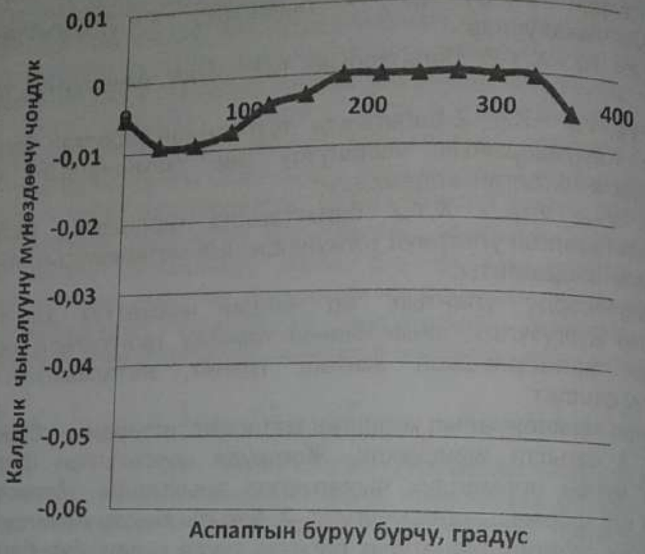
V_{sox}, V_{soy}, V_{soz} - X,Y,Z багыттарына тийешелүү, багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарынын материалдын чыңалуусуз абалындагы ылдамдыгы.

Изилдөөлөрдү улантып, ар кандай касиеттүү тоо-тектерине изилдөөлөр жүргүзүлдү, анын ичинен төмөнкү тоо-тектери кененирээк изилденди: мраморлошкон акиташ, гранит, метасамотит, хлорит-сериციттүү филлит.

Кумтөр кенинен алып келинген метасамотиттердин куб формадагы үлгүлөрү 3 багытта изилденди. Жогоруда көрсөтүлгөн формуланын жардамы менен нормалдуу чыңалуулар аныкталды. Метасамотиттен жасалган куб формасындагы үлгүнү X багыты боюнча изилдегенде, эң чоң чыңалуу субмеридианалдык багытка туура келди, бул багытта σ_X = 30МПа чоюлуучу калдыктуу чыңалуу бар экендиги аныкталды (1-сүрөт). Ал эми субшироттуу багытта σ_Y = -29МПа кысылуучу калдыктуу чыңалуу бар экендиги табылды. Ошондой эле нормалдуу чыңалуунун max жана min маанилери табылды (1-сүрөт).

1-сүр.Горизонталь (X) багыт боюнча калдык чыңалуунун графиги (Метасамотит, Кумтөр руднигi, σ_X =30 МПа; $\sigma_{1(max)}$ = 49,6 МПа; $\sigma_{3(min)}$ = 10,5 МПа).

Ал эми хлорит-серициттүү филлитте азыраак өлчөмдө калдыктуу чыңалуу бар экендиги такталды (2-сүрөт).

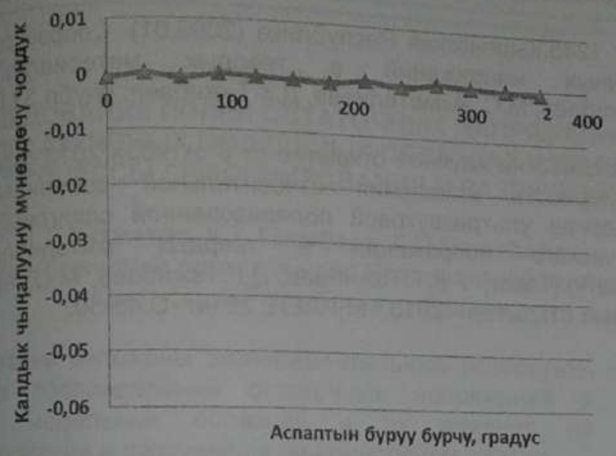


2-сур.Калдык чыңалууну мунөздөөчү чоңдуктардын графиги, хлорит-серициттүү филлит (Кумтор кени).

Гранит тоо-тегинде филлитке караганда да азыраак өлчөмдө калдыктуу чыңалуу бар экендиги такталды (3 - сүрөт).

3-сур. Калдыктуу чыңалууну мунөздөөчү чоңдуктардын графиги. Гранит тоо-тегі (Восточный Коунрад).

Мраморлошкон акиташта калдыктуу чыңалуу жок экендиги тактaлды (4-сүрөт).



4-сүр. Калдыктуу чыңалууну мүнөздөөчү чоңдуктардын графиги, мраморлошкон акиташ (Ингичке).

Корутунду

- Өз ара тик багытта болгон, багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарынын ылдамдыктарынын айрымасы тоо-тектериндеги калдык чыңалуунун чоңдугуна жана анын багытына жараша болоору аныкталды.
- Багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарын колдонуу менен биз сунуштаган ыкма (метод) менен аныкталган калдык чыңалуулар, кеңири белгилүү болгон поляризациялык-оптикалык ыкма (метод) менен табылган, көрүүгө боло турган, изохром сүрөттөрү менен жакшы дал келди.
- Жыйынтыгында өз ара тик багытталган туурасынан таралган ультраүн толкундарынын ылдамдыктарынын айырмасын аныктоочу, тоо-тектеринде калдык чыңалуунун бар же жок экендигин жана белгисин аныктоого мүмкүнчүлүк берүүчү ыкма (метод) иштелип чыкты.

Колдонулган адабияттар

1. Тажибаев К.Т. Т.2 Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. Бишкек-Алтын Принт-2016. С.45-47.

2. Гуща О.И. Ультразвуковой метод определения остаточных напряжений. Состояния и перспективы/ Экспериментальные методы исследований деформаций и напряжений. Киев 1983. 77 с.

3. Патент 1245.Кыргызская Республика (2009.01). Способ определения остаточных напряжений в твердых материалах.[Текст]: / К.Т.Тажибаев, М.С. Акматалиева, Д.К.Тажибаев; опубл.31.03.2010.

4. Диплом №453 на научное открытие от 3 октября 2013 года, г.Москва. Закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали).[Текст]: / К.Т.Тажибаев, Д.К.Тажибаев, М.С. Акматалиева // Научные открытия - 2013.- М.РАЕН, 2014г.-С.48-50.