ISSN 2221-3198

Геология и Геофизика Юга России

№ 4 / 2018

УДК 550.37+550.834
DOI:10.23671/VNC.2018.4.20159

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КАК ПРОИЗВОДНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ГОРНОГО МАССИВА И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ МОНИТОРИНГА

© 2018 Х. О. Чотчаев, А. М. Колесникова, к. г. н., М. В. Майсурадзе, В. Д. Шепелев

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail. ru

Процесс напряженно-деформированного развития среды условно начинается дислокацией в кристаллах, протекает образованием зоны трещиноватости в породах и заканчивается обрушением массива (разломом в естественных условиях). Каждый этап напряженно-деформированного развития или изменения характеризуется обусловленной этим изменением конкретной величины амплитудно-частотных колебаний среды. Реакция массива на действие деформирующего напряжения проявляется нарушением электрических связей в кристаллической решетке. Дана оценка современным средствам контроля безопасности персонала и предупреждения состояния элементов локального подземного пространства, основанным на незащищенных от электромагнитных помех схемах электрических и радиотехнических цепей. К существенным недостаткам отнесена их подверженность воздействию человеческого фактора в виде принудительного отключения. Изменения дипольных моментов при ковалентной связи ведут к возникновению электромагнитных импульсов, а остаточные деформации в виде дислокаций создают акустические волновые поля. Приводится энергетическая характеристика трех составляющих межмолекулярных взаимодействий: ориентационная, индукционная и дисперсная.

Рассматривая природу физических полей как производные деформаций среды, переходящие со временем в механические необратимые изменения структуры пород и структурно-тектонического строения массива, появляется возможность установления количественной зависимости интенсивности этих полей и состояния безопасности разрабатываемого массива. В качестве основной технологии мониторинга естественных электромагнитных импульсов и звуковых волн предлагаются волоконно-оптические датчики на основе брэгговских решеток.

Ключевые слова: деформация, физические поля, амплитудно-частотные характеристики, электромагнитные импульсы, акустические волны, мониторинг, волоконно-оптические датчики.

Актуальность рассматриваемой задачи

Производство в горнодобывающей отрасли ведется во все времена с высокой степенью риска. Во-первых, из-за сложности геологической обстановки, как в плане структурно-тектонической раздробленности, так и в многообразии негативно воздействующих факторов на устойчивость массива горных пород, учесть влияние по полному списку которых все еще не представляется возможным. Во-вторых, это происходит из-за недостаточной изученности геолого-структурных, тектонических и геотехнических условий разреза, как на стадии детальной разведки, так и в процессе промышленного освоения. Под массивом в данной работе понимается объем горной породы, представляющий определенный интерес и подготавливаемый к промышленному освоению, геотектонические условия которого подлежат детальному изучению для безопасного ведения горнопроходческих работ.

Системы современных средств контроля и предупреждения состояния элементов локального подземного пространства, безопасного и бесперебойного функционирования транспортных средств и горнопроходческого оборудования, а также позиционирования местонахождения каждого работника в случае чрезвычайного происшествия базируются, в основном, на принципиальных схемах электрической и радиотехнической цепей, которые недостаточно чувствительны и плохо защищены от помех электромагнитного характера. Кроме того, они легко подвержены воздействию человеческого фактора, заключающегося в возможности принудительного отключения сигнальных средств, произвольной интерпретации причин автоматизированных сигнальных предупреждений отдельными работниками или целыми группами работников с якобы ложными срабатываниями контрольной аппаратуры и, как следствие, обуславливавет игнорирование предупреждений контрольных систем. Поколение ныне действующего шахтного контрольно-предупредительного оборудования уровня безопасности не может блокировать производственные циклы и выполнять программу спасения людей. Инновационные технологии средств контроля и предупреждения должны быть запрограммированы на независимую блокировку производственных процессов, позиционирование местоположения функционирующих в производственном цикле площадок и каждого персонифицированного работника в реальном времени. Инновационные технологии должны содержать не только программы ведения производственного цикла, но и программы автоматизированной ликвидации аварий или смягчение последствий в горных выработках.

Атомно-молекулярная основа горных пород и внутренние связи

В вопросах, касающихся механики горных пород, эмпирические заключения, экспериментальные подтверждения и теоретические видение основываются на предположении об их упругой природе, независимо от генезиса, допуская при этом наличие широкого диапазона упругих сред – от мягкопластичных грунтов до практически абсолютно твердых минеральных образований.

В последнее десятилетие в Геофизическом институте заметное внимание уделяется, как физико-химическим связям собственно твердой среды, так и изучению поведения горной породы при интенсивных динамических нагрузках на основе учета взаимодействия ее нано-размерных частиц или формированию макро-физико-механических свойств горных пород на основе учета ее микро-свойств – атомно-молекулярных связей и их изменения [Григоркина и др., 2015; Заалишвили, Туаева, 2002, 2003; Заалишвили и др., 2009, 2016].

Горная порода представляет собой моно- или полиминеральное образование, сцементированное межмолекулярными связями зерен и частиц совершенных кристаллов, обусловленными электромагнитным взаимодействием электронов и ядер одной молекулы с электронами и ядрами другой [Зварыгин, 1994].

Силы межмолекулярных связей проявляются дипольным, электромагнитным и квантово-дисперсным воздействиями. Если по какой-либо причине твердое тело деформировано, то в нем возникает упругая сила, направленная на восстановление его первоначального состояния. Она всегда направлена противоположно деформирующей силе, вызванной нарушением естественного состояния горного массива.

Крепость пород определяется межмолекулярным взаимодействием составляющих породу частиц, скомпонованных на атомно-молекулярном уровне согласно

равновесному расположению, когда потенциальная энергия молекулы минимальна, вытекающая из положения равновесия кулоновских сил притяжения ядер и электронов и отталкивания ядер и соответственно электронов друг от друга.

В свою очередь, устойчивость молекулы, кристалла или минерала как целого обеспечивается взаимодействием атомов, т. е. химической связью, которая значительно превышает силу межмолекулярного взаимодействия (при одном и том же минеральном составе крепче те породы, которые более мелкозернистые).

Устойчивая атомно-электронная пара (химический элемент) в строго соответствующих количествах посредством определенного типа связи образует молекулы, которые, в свою очередь, в соединении с другой атомно-электронной парой или другой молекулой, образуют кристаллы и минералы, совокупность которых и есть горная порода.

В горных породах преобладает ковалентная (гомеополярная) связь, т. е. электронное облако одного атома находится одновременно под воздействием и другого атома, а электронное облако второго атома находится и под воздействием первого атома, при этом электронное облако вытянуто между атомами.

Физика межмолекулярного взаимодействия обусловлена электромагнитным взаимодействием электрона и ядер одной молекулы с электронами и ядрами другой, подобно атомному взаимодействию. Энергия межмолекулярных взаимодействий складывается из трех видов взаимодействия: ориентационного, индукционного и дисперсного [Молекулярные взаимодействия, 1984].

Взаимодействие молекул ориентационного вида обязано присутствию дипольного момента. Сила притяжения между молекулами зависит от их ориентации относительно друг друга. Максимальная сила взаимодействия молекул наблюдается в том случае, когда их дипольные моменты сориентированы в одном направлении, по одной линии. Энергия притяжения ориентационного вида для двух молекул приблизительно может быть выражена формулой:

$$E_{op}=k\,(m_1^2 * m_2^2)/r^6 \qquad (1)$$

здесь k – коэффициент, зависящий от температуры; m_1, m_2 – дипольные моменты молекул; r – расстояние между молекулами.

Индукционное взаимодействие обусловлено взаимодействием электронного дипольного момента одной молекулы с индуцированным ей дипольным моментом другой полярной или неполярной молекулы. Энергия индуцированного взаимодействия приблизительно может быть выражена формулой:

$$E_{инд.}= - k\,(\alpha_1 m_1^2 * \alpha_2 m_2^2)/r^6, \qquad (2)$$

где α_1 и α_2 – поляризуемость молекул.

При квантово-механических флуктуациях электронной плотности возникает дисперсионное взаимодействие молекул за счет смещения зарядов при движении электронов вокруг ядер и образования мгновенных диполей, которые индуцируют мгновенные диполи в соседней молекуле, что ведет к их взаимодействию. Энергия дисперсного взаимодействия определяется по формуле:

$$E_{дис.}= -\frac{3}{2}\,(\alpha_1\alpha_2 I_1 I_2)/I_1 I_2 r^6 \qquad (3)$$

здесь I_1 и I_2 – потенциалы ионизации молекул.

Дисперсионное взаимодействие слабо экранируется, и поэтому взаимодействие между частицами легко определить суммированием взаимодействий между

молекулами и атомами в обеих частицах, например, с помощью интегрирования в предположении аддитивности межмолекулярных (межатомных) взаимодействий. Приращение энергии молекулярного притяжения на единицу площади частиц можно вычислить на основании формулы Бура и Гамакера [Коллоидная химия, 1982].

Для вывода уравнения энергии молекулярного притяжения между частицами воспользуемся уравнением энергии притяжения одной молекулы [Ананьев, Коробкин, 1973]:

$$U=\pi Cn/6x^3, \quad (4)$$

где, x – расстояние между атомами одной частицы и поверхностью другой; C – константа; n – число атомов. Если обозначить расстояние между атомом одной частицы и поверхностью другой частицы через x = r + h, где h – расстояние между частицами; r – расстояние атома от поверхности частиц, а число взаимодействующих атомов через n, то приращение энергии молекулярного притяжения на единицу площади частиц составит:

$$dU=-\pi n^2 Cdr/6\ (r+h)^3 \quad (5)$$

После интегрирования получим,

$$U=-\pi n^2 C/12h=A/12\pi h^2, \quad (6)$$

где A – константа Гамакера, имеющая значение порядка 10^{-19} Дж.

На основании формулы Бура и Гамакера можно определить (ориентировочно) прочность молекулярных связей между зернами.

Удельная сила взаимодействия между зернами (прочность межмолекулярных связей), исходя из предыдущего уравнения, составит:

$$f=A/6\pi h^3 \quad (7)$$

Минимальное расстояние между зернами горной породы равно сумме радиусов соприкасающихся атомов. Принимая h= 3×10^{-10}м, получим:

$$f=10^{-19}/6*3,14*\ (3*10^{-10})^3=3,7*10^9 Па, \quad (8)$$

что выше прочности самых прочных горных пород, таких как кварц.

Геофизические поля как индикаторы механических процессов

Физические и химические основы межмолекулярных связей горных пород одновременно являются предвестниками протекающих нарушений этих связей, причиной которых является увеличение напряжений в породах и последующие упругие или остаточные деформации. Исходя из основ межмолекулярных связей, очевидно, что индикатором являются электромагнитные поля, поскольку деформации кристаллической решетки вызывают изменение расстояний между атомами и квантово-механические флуктуации электронной плотности частиц (молекул, атомов). Мгновенное распределение электрического заряда молекулы, которому отвечает мгновенный дипольный момент молекулы (или более высокого порядка мультипольный момент), индуцирует электрический мультипольный момент в другой молекуле. Лавинный эффект мгновенных мультипольных моментов создает энергию дисперсионного взаимодействия, которая проявляется в виде электромагнитных импульсов (ЭМИ) поля $E_{\text{дисп}}$.

Частотный спектр электромагнитных колебаний лежит в диапазоне 1Кгц-50МГц, причем в начальной стадии развития деформационного процесса спектр смещается в сторону высоких частот, а с началом проявления остаточных деформаций постепенно смещается в область низких частот. Для начальной стадии нагружения характерно возникновение дислокаций, т. е. локальных смещений отдельных атомов кристаллической решетки. Дислокация способна распространяться в кристалле за счет меньшей дополнительной внешней энергии, чем требуется для образования дефекта при совершенной решетке [Богомолов и др., 2008; Фейнман и др., 1966].

Наиболее высокочастотная часть спектра ЭМИ соответствует возникновению таких дислокаций, множество которых приводит к образованию зон трещиноватости и тектонических нарушений. Каждый ранг тектонического проявления сопровождается определенным спектром электромагнитных импульсов, при этом низкочастотные импульсы характерны нарушениям относительно низких порядков и наоборот. Безусловно, сказанное относится к любому отдельно взятому комплексу, будь то магматический, метаморфический или осадочный, с той лишь разницей, что спектры деформаций каждого комплекса будут индивидуальными.

Поскольку электромагнитный импульс является вектором, а его амплитудно-частотные характеристики и пространственная направленность служат важнейшими параметрами для определения природы воздействия, целесообразно проводить измерения ЭМИ в режиме регистрации 3-х компонент. В комплексе с геотехническими, литологическими и структурно-тектоническими условиями месторождения данные 3-х компонентных наблюдений за электромагнитными импульсами позволяют установить интервалы разрабатываемого массива с активной динамикой развития механических напряжений, дать качественную характеристику деформирующего фактора, сделать прогноз развития опасных процессов.

Использование метода ЭМИ в решении задач обнаружения, мониторинга развития события в виде напряженного деформирования среды, предупреждения катастрофических последствий и прогноза таких крупных геодинамических событий как горные удары на рудниках и шахтах пройденных на больших глубинах, а также землетрясений представляется перспективным для обеспечения безопасности подземных горнопроходческих работ.

Рудовмещающие массивы Центрального Кавказа в основном состоят из метаморфических, магматических, вулканогенно-осадочных комплексов, относящихся к категории, в целом, крепких пород. Остаточные деформации в таких породах в форме микротрещин, горных ударов, отскоков элементов породы, деформационных тресков, отслаиваний и т. д. сопровождаются звуковым эффектом.

Пластические деформации, связанные с появлением и развитием дефектов на уровне структурно-текстурных особенностей материала в виде микро- и макротрещин и аллотропических изменений кристаллической решетки, проявляются в виде отдельных акустических импульсов, служащих универсальным признаком обнаружения разномасштабных трещин по частотному спектру излучения. Такие импульсы проявляются в кристаллической решетке даже в области упругости, а возникают от того, что среда неоднородна на уровне текстурно-структурной упаковки, нагружена неравномерно и в отдельных областях происходит пластическая деформация, хотя в целом процесс остается упругим. Возбуждение высокочастотных акустических волн благоприятствует применению сейсмоакустических исследований в звуковом и ультразвуковом диапазоне частот.

Цикл акустической эмиссии породы от начала нагружения до полного разрушения будет дифференцироваться характерными амплитудно-частотными спектрами, отражающими стадии деформаций на уровнях кристаллической решетки, структурно-текстурного и литологического строения среды.

Усиление напряжения происходит за счет перераспределения давления боковых или вышележащих пород, изменения текстурных особенностей породы, затем и межэлементных связей на уровне структурных изменений. При давлениях превышающих предел прочности породы, фаза упругих деформаций сменяется нелинейными изменениями структуры среды (пластические деформации) и разрывами сплошности. Далее следует обрушение горной породы или разрядка в виде горного удара.

Сдвиги на межмолекулярном уровне структурно-тектонической упаковки горной породы порождают высокочастотные упругие продольные и поперечные волны, частотный спектр которых будет смещаться влево по мере подготовки, появления и развития остаточной деформации. Диапазон частот на ранней стадии развития напряженно-деформированного процесса может фиксироваться СВЧ-датчиками, внедрение которых позволит получить полный цикл подготовки, развития и протекания напряженно-деформированных процессов на опасных участках горных выработок. Напряжение, соответствующее начальной стадии деформации в виде микротрещины, будет иметь малую длительность (порядка микросекунд или долей микросекунд) [Чотчаев, 2016].

Продольно-сдвиговые смещения при постоянно возрастающем давлении перестают быть упругими, упругая деформация переходит в пластическую и часть энергии начинает расходоваться на диссипативные потери, включая и остаточную деформацию, которая используется на практике поляризационно-оптической регистрации напряжений, испытываемых горным массивом и определяемых по величине соотношения главных оптических осей, для чего используются оптические композиционные материалы [Колесникова и др., 2014].

Мониторинг напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива по физическим полям

Исследование и анализ природы возникновения электромагнитных импульсов и акустических волн направлены на установление надежных и эффективных индикаторов, характеризующих состояние разрабатываемого массива горных пород с использованием не менее надежных технологических средств наблюдения.

Используемые традиционные электро- и радиотехнические схемы с одной стороны, недостаточно надежно защищены от широкого спектра электрических помех подземного оборудования и природного характера, и с другой – технологические линии контроля доступы любому заинтересованному. Первый недостаток приводит к нередким ложным предупреждениям, а второй – к отключениям за неподтвержденность или умышленным корректировкам порога срабатывания прибора, т. е. возможному занижению чувствительности прибора. Статистика такова, что количество аварий в подземных выработках, связанных с ухудшением состояния массива из-за техногенного нарушения устойчивой геостатической стабильности пород и воздействия деформирующих природных событий на уже неустойчивые горные породы разрабатываемого шахтного пространства, не уменьшается [Бабин и др., 2013].

Среди множества направлений, требующих обеспечения безопасности горного производства, здесь рассматривается лишь разрабатываемый массив, напряженно-деформированное состояние которого генерировано пустотным пространством выработок, технологическими взрывами, сейсмотектоническими разгрузками в области масштабных дислокаций (каковыми являются выработки), случайными сейсмодислокациями, сфокусированными на территорию массива и т. д.

Исходя из физики деформации кристаллической решетки и последующих физико-химических взаимодействий на атомно-молекулярном уровне, следствием чего являются электромагнитные импульсы и акустические волны, диаграммы этих характеристик наиболее полно могут содержать информацию о динамике деформационных изменений в массиве.

При выборе технологической линии мониторинга электромагнитной и акустической производных остаточной деформации массива учитываются недостатки традиционных систем радио- и электротехнических цепей относительно их чувствительности к помехам, что предопределяет использование волоконно-оптических линий и датчиков. В качестве сенсоров необходимо использовать датчики звуковые (для акустических волн) и магнитного и электрического поля (для электромагнитных импульсов).

Для пространственно-временной привязки событий необходимо предусмотреть возможность амплитудно-частотного дифференцирования полезного сигнала, что доступно при использовании квазираспределенного датчика [Вялишев и др., 2014], представляющего собой массив точечных сенсорных элементов, как правило, на основе внутриволоконных решеток, объединенных одним общим световодом, т. е. одномодовым волоконно-оптическим кабелем с записанными в оптоволокне брэгговскими решётками. Брэгговские решетки это участки световода с чередованием показателя преломления вдоль его оси за счет преобразования ультрафиолетовым облучением структуры световода. ВБР каждого датчика отражает свет определённой длины волны с шириной спектра около 1 нм. При механическом воздействии (деформация, смещение, вибрация) изменяются период и показатель преломления решётки, вследствие чего происходит смещение длины волны отражённого света. Обработкой результатов измерений величины этого смещения определяются относительная деформация, температура, наклон, ускорение, вибрация, давление и перемещение (в зависимости от конструкции датчика). Каждый элемент обладает своими уникальными характеристиками, что позволяет проанализировать его состояние независимо от других сенсорных элементов.

Пункты размещения волоконно-оптических датчиков и сеть их расположения определяются исходя из максимального обеспечения безопасности персонала и шахтного оборудования, степени важности объекта в технологическом цикле освоения массива, учета структурно-тектонических и геотехнических условий эксплуатации массива, гидрогеологического режима грунтовых и пластовых вод, сейсмичности территории, возможных организационных срывов, инфраструктурных неувязок и т. д. Для уверенной интерпретации результатов наблюдений и обоснованного заключения о наступлении момента аварийной ситуации должны быть дублирующие друг друга две технологические линии наблюдений с брэгговскими решетками-датчиками, одна из которых регистрирует электромагнитные импульсы, другая – акустические волны.

Линия связи также должна состоять из волоконно-оптического кабеля. Монтаж датчиков и линии связи производится в недоступности шахтному персоналу, непосредственно не участвующему в процессе мониторинга.

Управление технологической линией мониторинга выводится на дневную поверхность в диспетчерскую.

На этапе опытно-методических разработок и производственных наблюдений представляется целесообразным установить критерии определения аварийной ситуации по параметрам возмущения, на которые впоследствии калибруется регистрирующая аппаратура для работы в автономном режиме без вмешательства оператора.

Окончательную схему технологической линии, тип волоконно-оптического кабеля, спектральную ширину сигнала источника, периоды брэгговских решеток, технологию установок датчиков и прочие технические тонкости пуска волоконно-оптической технологической линии мониторинга могут спроектировать, выполнить и запустить специалисты волоконно-оптических линий связи, с которыми в век инновационных технологий горнякам необходимо завязывать тесные контакты.

Выводы

Индикаторами напряженно-деформированного состояния и степени развития остаточных деформаций в массиве горной породы и элементах технологических выработок, угрозы горного удара и выброса метана, обвалов и обрушений и продолжительных сейсмологических воздействий, являющихся следствием внешних деформирующих напряжений, служат естественные электромагнитные импульсы и акустические волны.

Описана механика воздействия напряженно-деформированного состояния на уровне кристаллической решетки и физико-химических процессов на атомно-молекулярном уровне.

Показаны физико-химические основы обнаружения и развития напряженно-деформированного состояния горной породы, основанные на аномальных проявлениях таких физических параметров как импульсы электромагнитных и звуковых волн.

Ранняя стадия проявления пластических деформаций в горной породе теоретически связывается с изменениями на уровне кристаллической решетки, текстурной и структурной упаковок породы, сопровождающимися лавинообразным проявлением микротрещин в особых очаговых точках и генерацией электромагнитных и акустических колебаний в широком диапазоне частотного спектра.

Предполагается возможность дифференциации сигналов обоих характеристик по амплитудно-частотным спектрам и – установления степени развития деформационного процесса.

Оценено современное состояние контроля напряженно-деформированного состояния массива на основе помехонезащищенных электрических и радиотехнических схем.

Обосновывается перспектива использования в качестве технологической линии и датчиков мониторинга состояния массива горных пород волоконно-оптических сенсоров закрытого типа с выведением регистрирующей аппаратуры на дневную поверхность в диспетчерский пункт.

Литература

1. Ананьев В. П., Коробкин В. И. Инженерная геология. – М.: Высшая школа, 1973. – С. 299.

2. Бабин С. А., Голушко С. К., Цыба А. М., Чейдо Г. П., Шелемба И. С., Шакиров О. Р. Концепция многофункциональной системы безопасности угольной шахты с использованием волоконно-оптических технологий // Вычислительные технологии. – Том 18. Специальный выпуск. – Новосибирск. – 2013. – С. 95-100.

3. Богомолов Л. М., Боровский Б. В., Закупин А. С., Мубассарова В. А., Сычев В. Н., Сычева Н. А. От экспериментов В. А. Степанова по электропластическим эффектам в кристаллах NaCl к современным исследованиям электрочувствительности трещинообразования в горных породах // XVIII Петербургские чтения по проблемам прочности и роста кристаллов, посвященные 100-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР профессора А. В. Степанова. – Санкт-Петербург. – 2008. – С. 3-17.

4. Григоркина Г. С., Хубежов С. А., Тваури И. В., Ашхотов О. Г., Ашхотова И. Б., Заалишвили В. Б., Козырев Е. Н., Уайлд М., Секиба Д., Огура Ш., Фукутани К., Магкоев Т. Т. Исследование межфазных границ в системах AG / TiO_2, AU / TiO_2, AG / MoO_3, AU / MoO_3 // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2016. – № 8. – С. 100-104.

5. Вялишев А. И., Добров В. М., Долгов А. А., Бутов О. В., Плешков А. Ю. Волоконно-оптические датчики для контроля параметров состояния объектов и окружающей среды в задачах мониторинга // Природоустройство. – 2014. – № 3. – С. 32-37.

6. Заалишвили В. Б., Туаева Ж. Д. Математическое моделирование колебаний грунтовой толщи на основе учета нелинейных свойств грунтов при интенсивных воздействиях // Труды Международной конференции «Информационные технологии и системы: наука и практика». – Владикавказ. – 2002. – С. 367-370.

7. Заалишвили В. Б., Туаева Ж. Д. Математическое моделирование колебаний грунта на основе учета нелинейных свойств при интенсивных воздействиях // Владикавказский математический журнал. Апрель – июнь 2003 г. – Владикавказ. – 2003. – Т. 5. Вып. 2. – С. 18-23.

8. Заалишвили В. Б., Туаева Ж. Д., Мельков Д. А. Установление механизмов формирования нелинейно-неупругих явлений, обусловленных нано-размерными частицами среды при интенсивных динамических воздействиях // Труды IV международной научной конференции «Информационные технологии и системы. Наука и практика». – Владикавказ. 30 июня – 3 июля 2009 г. – 2009. – С. 245-246.

9. Заалишвили В. Б., Магкоев Т. Т., Мельков Д. А., Морозов Ф. С. Механизмы формирования нелинейно-неупругих явлений обусловленных нано-размерными частицами среды при интенсивных воздействиях // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 1. – С. 48-60.

10. Зварыгин В. И. Влияние водной среды на прочность структуры промывочной ждкости // В сб.: Соверенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. – Екатеринбург. – 1994. – С. 126-130.

11. Колесникова А. М., Чотчаев Х. О., Джгамадзе А. К. Использование поляризационно-оптического метода измерения напряжений (ПОМИН) для прогноза землетрясений // В сб.: Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа. Труды IV Международная

научно-практическая конференция посвященой 65-летию доктора физико-математических наук, профессора, Почетного деятеля науки и техники Российской Федерации, Заслуженного деятеля науки Республики Северная Осетия-Алания В. Б. Заалишвили. Отв. редакторы: А. В. Николаев, В. Б. Заалишвили. – Владикавказ. – 2014. – С. 303-306.

12. Коллоидная химия. – 1982. – С. 246.

13. Молекулярные взаимодействия // Перевод с англ. Э. Д. Германа; под ред. А. М. Бродского. – М.: Мир, 1984. – С. 49-50.

14. Фейнман Р. Р., Лейтон Р. В., Сендс М. Физика сплошных сред // Фейнмановские лекции по физике. Т. 7. – М.: Мир, 1966. – С. 7-23.

15. Чотчаев Х. О. Контроль напряженно-деформированного состояния горного массива звукометрическими и геофизическими методами // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 3. – С. 129-140.

PHYSICAL FIELDS AS THE DERIVATIVE OF DEFORMATION OF THE MAUNTAIN MASSIF AND TECHNOLOGY OF IT'S MONITORING

© 2018 Kh. O. Chotchaev, A. M. Kolesnikova, Sc, Candidate (Geol.-Min.), M. V. Maysuradze, V. D. Shepelev

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93 a, e-mail: cgi_ras@mail. ru

The process of stress-strain development of the medium conditionally begins with dislocation in crystals, proceeds with the formation of a fracture zone in rocks and ends with the collapse of the massif (fault in natural conditions). Each stage of development is characterized by amplitude-frequency features. The reaction of the massif to the action of the deforming stress is manifested by a violation of electrical connections in the crystal lattice. Assessed the current security controls of the personnel and prevention the condition elements of the local underground space based on unsecured circuits electric and electronic circuits fromelectromagnetic interference. Significant disadvantages include their exposure to the human factor in the form of forced shutdown. Changes in the dipole moments in the covalent bond lead to the appearance of electromagnetic pulses, and the residual deformation in the form of dislocations create acoustic wave fields. The energy characteristic of three components of intermolecular interactions: orientation, induction and dispersion is given.

Considering the nature of physical fields as derivatives of the deformations of the medium, passing eventually to irreversible mechanical changes in the structure of rocks and structure-tectonic structure of the massif, there is the possibility of establishing a quantitative dependence of the intensity of these fields, and the security status of the developed massif. Fiber-optic sensors based on Bragg gratings are proposed as the main technology for monitoring natural electromagnetic pulses and sound waves.

Keyword: deformation, physical fields, electromagnetic pulses, acoustic waves, monitoring, fiber optic sensors.

References

1. Anan'ev V. P., Korobkin V.I. Inzhenernaya geologiya [Engineering geology]. M. Vysshaya shkola, 1973, 299 p. (in Russian)

2. Babin S.A., Golushko S.K., Cyba A.M., Chejdo G. P., Shelemba I. S., Shakirov O.R. Koncepciya mnogofunkcional'noj sistemy bezopasnosti ugol'noj shahty s ispol'zovaniem volokonno-opticheskih tehnologij [The concept of a multi-functional coal mine safety system using fiber optic technology]. Vychislitel'nye tehnologii. Vol. 18. Special'nyj vypusk. Novosibirsk. 2013. Pp. 95-100. (in Russian)

3. Bogomolov L.M., Borovskij B.V., Zakupin A.S., Mubassarova V.A., Sychev V.N., Sycheva N.A. Ot eksperimentov V.A. Stepanova po elektroplasticheskim effektam v kristallah NaCl k sovremennym issledovaniyam elektrochuvstvitel'nosti treshchinoobrazovaniya v gornyh porodah [From the experiments of V.A. Stepanov on electroplastic effects in NaCl crystals to modern studies of the electrical sensitivity of cracking in rocks]. XVIII Peterburgskie chteniya po problemam prochnosti i rosta kristallov, posvyashchennye 100-letiyu so dnya rozhdeniya chlena-korrespondenta AN SSSR professora A.V. Stepanova. Sankt-Peterburg. 2008. Pp. 3-17. (in Russian)

4. Grigorkina G.S., Hubezhov S.A., Tvauri I.V., Ashhotov O.G., Ashhotova I.B., Zaalishvili V.B., Kozyrev E.N., Wilde M., Sekiba D., Ogura Sh., Fukutani K., Magkoev T.T. Issledovanie mezhfaznyh granic v sistemah AG / AG / TiO_2, AU / TiO_2, AG / MoO_3, AU [Investigation of interphase boundaries in systems AG / TiO_2, AU / TiO_2, AG / MoO_3, AU / MoO_3]. Fiziko-himicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov. 2016. No. 8. Pp. 100-104. (in Russian)

5. Vyalishev A.I., Dobrov V.M., Dolgov A.A., Butov O.V., Pleshkov A.Yu. Volokonno-opticheskie datchiki dlya kontrolya parametrov sostoyaniya ob`ektov i okruzhayushchej sredy v zadachah monitoringa [Fiber-optic sensors for monitoring the parameters of the state of objects and the environment in monitoring tasks]. Prirodoustrojstvo. 2014. No. 3. Pp. 32-37. (in Russian)

6. Zaalishvili V.B., Tuaeva Zh.D. Matematicheskoe modelirovanie kolebanij gruntovoj tolshchi na osnove ucheta nelinejnyh svojstv gruntov pri intensivnyh vozdejstviyah [Mathematical modeling of the soil strata vibrations based on taking into account the nonlinear properties of soils during intensive loadings]. Trudy Mezhdunarodnoj konferencii "«Informacionnye tehnologii i sistemy: nauka i praktika". Vladikavkaz. 2002. Pp. 367-370. (in Russian)

7. Zaalishvili V.B., Tuaeva Zh. D. Matematicheskoe modelirovanie kolebanij grunta na osnove ucheta nelinejnyh svojstv pri intensivnyh vozdejstviyah [Mathematical modeling of ground motion based on taking into account non-linear properties under intensive loadings]. Vladikavkazskij matematicheskij zhurnal. Aprel' – iyun' 2003 g. Vladikavkaz. 2003. Vol. 5. Issue 2. Pp. 18-23. (in Russian)

8. Zaalishvili V.B., Tuaeva Zh. D., Mel'kov D.A. Ustanovlenie mehanizmov formirovaniya nelinejno-neuprugih yavlenij, obuslovlennyh nano-razmernymi chasticami sredy pri intensivnyh dinamicheskih vozdejstviyah [Establishment of mechanisms for the formation of nonlinear inelastic phenomena caused by nano-sized particles of the medium under intense dynamic loadings]. Trudy IV mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Informacionnye tehnologii i sistemy. Nauka i praktika". Vladikavkaz. 30 iyunya – 3 iyulya 2009 g. 2009. Pp. 245-246. (in Russian)

9. Zaalishvili V.B., Magkoev T.T., Mel'kov D. A., Morozov F.S. Mehanizmy formirovaniya nelinejno-neuprugih yavlenij obuslovlennyh nano-razmernymi chasticami

sredy pri intensivnyh vozdejstviyah [Mechanisms of formation of nonlinear inelastic phenomena caused by nano-sized particles of the medium under intense loadings]. Geologiya i geofizika Yuga Rossii. 2016. No. 1. Pp. 48-60. (in Russian)

10. Zvarygin V.I. Vliyanie vodnoj sredy na prochnost' struktury promyvochnoj zhdkosti [The influence of the aquatic environment on the strength of the structure of the washing liquid]. V sb.: Soverenstvovanie tehniki i tehnologii bureniya skvazhin na tverdye poleznye iskopaemye. Ekaterinburg. 1994. Pp. 126-130. (in Russian)

11. Kolesnikova A.M., CHotchaev X. O., Dzhgamadze A.K. Ispol'zovanie polyarizacionno-opticheskogo metoda izmereniya napryazhenij (POMIN) dlya prognoza zemletryasenij [Using the polarization-optical method for measuring stress (POMIN) for earthquake prognosis]. V sb.: Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territoriyah Severnogo Kavkaza. Trudy IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya posvyashchenoj 65-letiyu doktora fiziko-matematicheskih nauk, professora, Pochetnogo deyatelya nauki i tehniki Rossijskoj Federacii, Zasluzhennogo deyatelya nauki Respubliki Severnaya Osetiya-Alaniya V.B. Zaalishvili. Otv. redaktory: A.V. Nikolaev, V.B. Zaalishvili. Vladikavkaz. 2014. Pp. 303-306. (in Russian)

12. Kolloidnaya himiya [Colloid chemistry]. 1982. 246 p. (in Russian)

13. Molekulyarnye vzaimodejstviya [Molecular interactions]. Perevod s angl. E.D. Germana; pod red. A.M. Brodskogo. M. Mir, 1984. Pp. 49-50. (in Russian)

14. Fejnman R.R., Lejton R.V., Sends M. Fizika sploshnyh sred [Physics of continuous media]. Fejnmanovskie lekcii po fizike. Vol. 7. M. Mir, 1966. Pp. 7-23. (in Russian)

15. CHotchaev H. O., Kontrol' napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva zvukometricheskimi i geofizicheskimi metodami [Control of the stress-strain state of a mountain massif using sound and geophysical methods]. Geologiya i geofizika Yuga Rossii. 2016. No. 3. Pp. 129-140. (in Russian)