

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА МИКРОТРЕЩИНЫ ГОРНЫХ ПОРОД

РЗАЕВ АБ. Г.¹, РАСУЛОВ С. Р.²

¹ Институт систем управления Национальной академии наук Азербайджана
(Азербайджан, г. Баку, ул. Б. Вахабзаде, 9)

² Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
(Азербайджан, г. Баку, пр. Азадлыг, 34)

Введение. Способность взаимодействия горной породы с глубинной водой тесно связана с аномальными свойствами воды: быстройрастворяющей и диссоциирующей характеристикой, аномально высокой температурой кипения, полярностью и поверхностной активностью молекул. При этом молекулы воды в присутствии других полярных молекул способны образовывать водородные мостики между атомами кислорода двух оказавшихся рядом молекул так, что атом водорода располагается на отрезке, соединяющем атомы кислорода. Образование тетраэдрических зародышей является аномалией жидкого кристалла воды. В этом аспекте исследование особенностей взаимодействия жидкого кристалла воды с трещинами горных пород, приводящего к разрушению трещин, является актуальной задачей.

Цель работы. Определение механизма взаимодействия горной породы с глубинной водой и разработка физических моделей жидкого кристалла воды для определения его роли в разрушении горных пород.

Методологии исследования. В работе анализируется существующее состояние проблем определения механизма взаимодействия глубинной воды с горной породой. Предложен новый подход к определению этого механизма. Показано, что глубинная вода является одним из определяющих факторов разрушения горной породы.

Результаты исследования. Сконструирована физическая модель жидкого кристалла воды, состоящая из 92 молекул. Предложен новый подход определения взаимодействия глубинной воды с трещинами горных пород.

Выводы и область применения результатов. Использован комплексный подход к анализу особенностей механизма взаимодействия горной породы с глубинной водой. Разработаны математические модели процесса фильтрации воды в трещины горных пород, приводящей к набуханию и разрыву трещин. Показано, что значение расклинивающего давления может достигать 230 МПа, что значительно больше предела устойчивости многих горных пород. Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании землетрясений путем определения механизма взаимодействия подземных вод с микротрещинами горных пород.

Ключевые слова: трещина; горная порода; глубинная вода; давление; набухание; межмолекулярная сила.

Введение. Аномальные свойства воды, такие как высокая температура кипения, значительная растворяющая и диссоциирующая способность, малая теплопроводность, высокая теплота испарения и другие, обуславливаются строением ее молекулы и пространственной структурой.

Молекулы воды в присутствии других молекул способны образовывать водородные мостики между атомами кислорода двух оказавшихся рядом молекул так, что атом водорода располагается на отрезке, соединяющем атомы кислорода. Способность образовывать такие мостики обусловлена наличием особого межмолекулярного взаимодействия, в котором существенную роль играет атом водорода. Это взаимодействие называется водородной связью [1, 2].

Каждая из присоединенных к данной молекуле воды способна к присоединению дальнейших молекул. Этот процесс можно назвать полимеризацией. Если только одна из двух возможных связей участвует в присоединении следующей молекулы, а другая остается вакантной, то «полимеризация» приведет к образованию либо зигзагообразной цепи, либо замкнутого кольца. Таким же образом располагаются молекулы кварца (SiO_2), представляющие собой основы земной твердости, не дающей минералам в горных породах (ГП) рассыпаться в прах. На вершинах тетраэдрических структур находятся кислород и кремний [3, 4].

Необходимо отметить, что 85 % массы твердой земной коры (ЗК) составляют силикаты, которые часто содержат воду и являются важнейшими породообразующими минералами различных ГП (роговые обманки, пироксены, гранаты и другие); глубинные воды участвуют в процессе подготовки сильных землетрясений [5, 6]; поступление воды в систему свежевскрытых трещин ГП облегчает их дальнейшее спонтанное разрушение согласно эффекту Ребиндера [7–9]; механизм воздействия воды состоит в облегчении развития микротрещин, которые возникают на основе слабых мест – дефектов в кристаллической решетке [10]; структурированная вода имеет большую вязкость, чем свободная вода [3]; повышение степени минерализации воды приводит к увеличению ее вязкости; в пластовых условиях вязкость воды изменяется приблизительно от 0,3 до 1,33 МПа · с [11]. Указанные особенности позволяют сделать вывод о том, что физико-химическое взаимодействие глубинной воды с ГП происходит в результате таких процессов, как осмотический массообмен, изменение расклинивающего давления и набухание, при которых развиваемое давление в отдельных случаях достигает сотен МПа. Вода, проникающая в полость между коллоидами, подвергается сильному сжатию, например, при набухании давление в полостях доходит до 40 МПа.

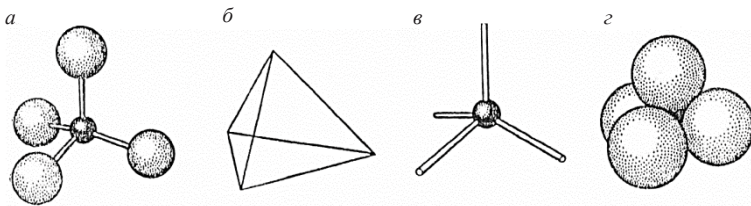


Рис. 1. Способы изображения тетраэдрической координации кислорода вокруг кремния или алюминия:

a – модель из шариков и стержней; *б* – сплошной тетраэдр; *в* – каркас тетраэдра;

г – объемная модель

Fig. 1. The methods of presenting tetrahedral coordination of oxygen around silicon and aluminium:

a – models of balls and bars; *b* – solid tetrahedron; *c* – wireframe of a tetrahedron;

d – three-dimensional model

Цель работы. Определение механизма взаимодействия горной породы с глубинной водой и разработка физических моделей жидкого кристалла воды для определения роли последнего в разрушении горных пород.

Методологии исследования. В работе анализируется существующее состояние проблем определения механизма взаимодействия глубинной воды с горной породой. Предложен новый подход к определению этого механизма. Показано, что глубинная вода является одним из определяющих факторов разрушения горной породы.

Результаты. Кристаллическая структура образца ГП построена из групп SiO_4^{4-} и ионов натрия и кальция, расположенных между ними в октаэдрических положениях [3].

В $\text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ к каждому иону SiO_4^{4-} присоединены два атома водорода. При этом для изображения кристаллической структуры силикатов, которые составляют основу ЗК, используется 4 вида моделей SiO_2 (рис. 1).

При построении квазикристаллической (тетраоктаэдрической и тритетраэдрической) структуры глубинной воды в трещинах ГП воспользуемся моделью, представленной на рис. 1, а.

С учетом ранее изложенного сконструирована объемно-структурная модель кристалла воды в виде симметричной (совершенной) фигуры тетрадодекаэдра, составленной из 92 тетраэдров (рис. 2), где на вершинах и гранях – положительные и отрицательные заряды и 3-тетрадодекаэдровая кристаллическая структура [4].

При соединении трех тетрадодекаэдров получена оригинальная квазикристаллическая структура (рис. 2, б), которая с изменением глубины (до очага землетрясения) будет уплотняться, пористость уменьшится, следовательно, повысится прочность структуры.

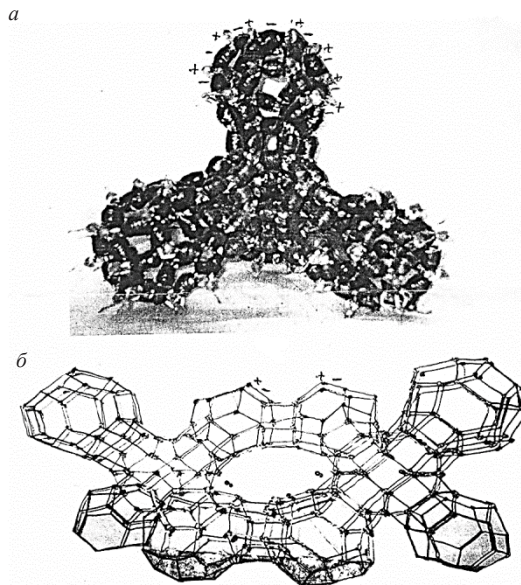


Рис. 2. Объемно-структурная модель кластера глубинной воды:

а – тетраоктаэдрическая структура; б – 3-тетраоктаэдрическая структура

Fig. 2. 3D structural model of deep water cluster:

а – tetraoctahedral structure; б – 3-tetraoctahedral structure

Согласно правилу Кёна, из двух соприкасающихся фаз положительно заряжается та, которая имеет большую диэлектрическую проницаемость [12]. Именно поэтому многие вещества, в том числе ГП, находящиеся в контакте с водой, имеющие большую диэлектрическую проницаемость за счет водородной связи, заряжаются отрицательно. Как следует из рис. 2, квазикристаллическая структура воды способна образовывать многочисленные водородные связи со стенками трещин и выполняет роль жидкостного клина.

Нарастание напряжения смягчается флюидо-насыщенными микротрещинами. Доказано, что глубинная вода участвует в процессе подготовки землетрясения [13]. Эффективность сдвига связана с повышением активности (квазикристалличности) глубинной воды. По мнению авторов работы [9], фактор внутреннего времени эволюции очага определяется исключительно перетоком внутренних вод. Скорость заполнения очага водой составляет от 1 до 10 дней, что сравнимо с этапом перехлеста (заключительной стадией землетрясения). При этом глубинная проницаемость составляет 0,01–0,1 Дарси. В работе [9] также отмечается, что поступление воды в систему свежевскрытых трещин, согласно Ребиндеру [10], облегчает их дальнейшее спонтанное разрушение, а полученная оценка времени объясняет временной разрыв (несколько дней) между срочными прогнозами и собственным ударом. Трещины после возникновения продолжают распространяться [14], и поглощение воды продолжается до тех пор, пока давление у окончания трещины не станет ниже регионального давления разрыва ГП за счет трения или фильтрационных потерь по ее длине.

Капиллярные давления (КД) в трещинах, которые являются вертикально ориентированными [5], поднимают смачивающую воду (рис. 3) [14], определяются равновесием сжимающего усилия мениска, направленного вертикально вверх (сила поверхностного натяжения) и силой тяжести, действующей на столбик воды, направленной вертикально вниз.

Поэтому

$$\pi r^2 \rho g h = 2\pi r \sigma \cos \theta, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; h – высота столбика в состоянии равновесия; σ – поверхностное натяжение; θ – краевой угол смачивания; r – радиус капилляра.

Уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$P_k = \rho g h = 2\sigma_{1,3} \cos \theta / r,$$

где $\rho g h$ определяет усилие, поднимающее жидкость по капилляру и называется капиллярным давлением (рис. 3), $\sigma_{1,3}$ – поверхностное натяжение воды на границе твердого тела.

Полное смачивание соответствует неограниченному растеканию жидкости по поверхности твердого тела и является, таким образом, самопроизвольным изотермическим процессом, что сопровождается всегда убылью свободной энергии на каждый последующий 1 см² смоченной поверхности.

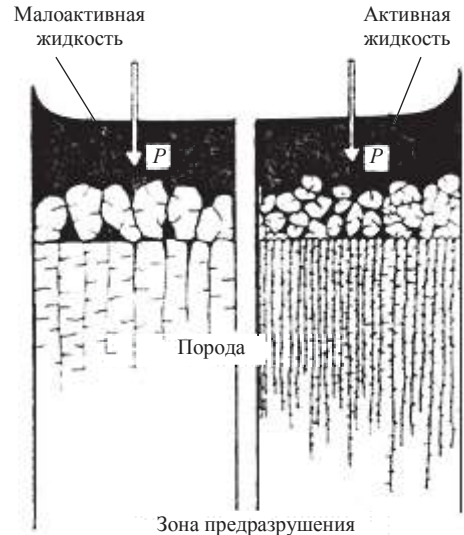


Рис. 3. Схема развития зоны предразрушения при механическом разрушении породы в малоактивной и активной жидкостях

Fig. 3. Development scheme of a fracture process zone under mechanical destruction of rock in low-active and active liquids

Эта убыль, называемая также коэффициентом растекания, должна быть положительной:

$$-\frac{dF}{dS} > (\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3}) = \beta > \sigma_{1,2},$$

где β – энергия смачивания; $\sigma_{1,3}$ – поверхностное натяжение воды на границе газа; $\sigma_{2,3}$ – поверхностное натяжение газа на границе твердого тела.

Условие полного смачивания, т. е. убыль энергии при вытеснении водой 1 газа 2, с которой ранее граничила поверхность твердого тела 3, должно быть больше, т. е.

$$(\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3}) - \sigma_{1,2} > 0 (\beta > \sigma_{1,2}).$$

Когда условие растекания не выполняется, т. е.

$$-\frac{dF}{dS} = (\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3}) - \sigma_{1,2} < 0,$$

и вода 1 образует с поверхностью 3 конечный краевой угол (θ):

$$\frac{(\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3})}{\sigma_{1,2}} = \cos \theta = B, \quad \text{где } -1 \leq B \leq 1,$$

КД, играющее роль всасывающей силы, меньше своего максимального значения ($P_{\max} = 2\sigma_{1,2/r}$) и составляет

$$P_{\sigma} = (2\sigma_{1,2/r}) \cos \theta = P_{\max} B.$$

В случае, когда энергия смачивания положительна ($\beta > 0$, хотя и меньше $2\sigma_{1,2}$), КД будет направлено в сторону всасывания, что соответствует $\theta < 90^\circ$, т. е.

$$0 \leq \theta < 90^\circ, \quad 0 < B \leq 1, \quad 0 < P_{\sigma} \leq P_{\max}.$$

Когда θ становится больше 90° , т. е. в случае отрицательной энергии смачивания $\beta = \sigma_{2,3} - \sigma_{1,3} > 0$, КД меняет знак ($-1 \leq B < 0$, $P_{\sigma} > 0$) и становится выталкивающей силой, препятствующей проникновению воды в капилляры, особенно при низкой проницаемости.

Проведенные исследования показывают, что КД, значение которого зависит от свойств поверхностей раздела, определяет многочисленные капиллярные эффекты, оказывающие большое влияние на движение воды в микротрещинах.

В результате исследования [14] выявлено, что смачивание открытых поверхностей микротрещин водой не только влияет на изменение КД, но и является причиной набухания и создания огромного порового давления, как было отмечено ранее [15, 16].

При этом в процессе дилатансии в дислокационных (дефектных) местах кристаллической решетки ГП возникают микротрещины. Через них в более глубокие слои ГП проникает вода (как поверхностно-активное и полярное вещество), постепенно углубляет трещины, подрывает их прочность изнутри (рис. 3) [10, 17].

Возможны два механизма адсорбции воды и набухания микротрещин ГП: адсорбция мономолекулярных слоев воды на обе стороны микротрещины (которая обычно называется кристаллическим набуханием или поверхностной гидратацией)

и осмотическое набухание, происходящее вследствие высокой концентрации ионов, удерживаемых электростатическими силами вблизи поверхности микротрещины [15, 16]. При этом давление набухания при любом заданном содержании воды связано с давлением паров воды в ГП и определяется уравнением

$$P_s = -\frac{RT}{V} \ln \frac{P}{P_0},$$

где P_s – давление набухания; T – абсолютная температура; V – парциальный мольный объем воды; R – газовая постоянная; P/P_0 – относительное давление паров воды, находящееся в равновесии с водой в ГП (это давление равно активности воды в ГП).

В процессе набухания вода имеет определенную структуру и обладает квазикристаллическими свойствами. На рис. 4 показано, что при кристаллическом набухании первый слой воды удерживается между поверхностями микротрещины с шестигранной решеткой атомов кислорода [17].

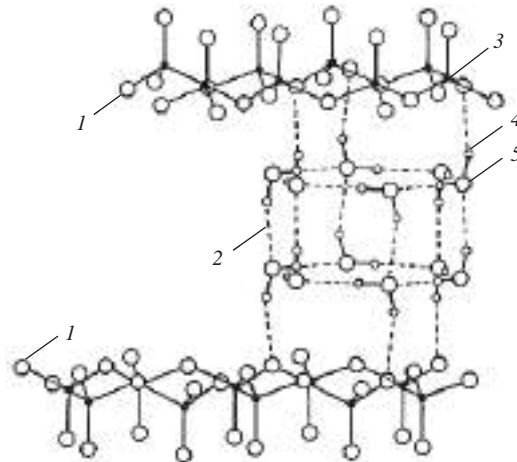


Рис. 4. Адсорбционные слои воды между поверхностями микротрещин ГП:

1 – поверхности микротрещин ГП; 2 – адсорбционный слой воды; 3 – SiO_2 ; 4 – атом водорода; 5 – атом кислорода
Fig. 4. Adsorption layers of water between rock microcracks surfaces:

1 – rock microcracks surfaces; 2 – adsorption layer of water; 3 – SiO_2 ; 4 – hydrogen atom; 5 – oxygen atom

При адсорбции вода проникает в устье под влиянием вакуума в микротрещине (рис. 5) и капиллярного давления.

В части микротрещины (вблизи устья) тонкая пленка воды, заполняющая зазор щели, может производить дополнительное расклинивающее давление.

Проведенные исследования показали, что, когда адсорбционная сила больше силы сцепления, в структуре ГП происходят набухание и коллоидные растворения – пептизация сравнительно мягких и неоднородных по структуре и составу частей ГП.

Как известно, все реальные твердые тела содержат множество неоднородностей, начиная от дефектов или слабых мест и заканчивая микротрещинами разных размеров, пронизывающими кристаллические структуры ГП. Разрывы при разрушении твердых тел происходят в местах наименьшего сопротивления.

Можно указать три механизма понижения прочности деформированной ГП под влиянием адсорбционных вод:

– экранирование силы сцепления, действующей между противоположными поверхностями зародышевых микротрещин посредством прослоек, образованных адсорбционными силами;

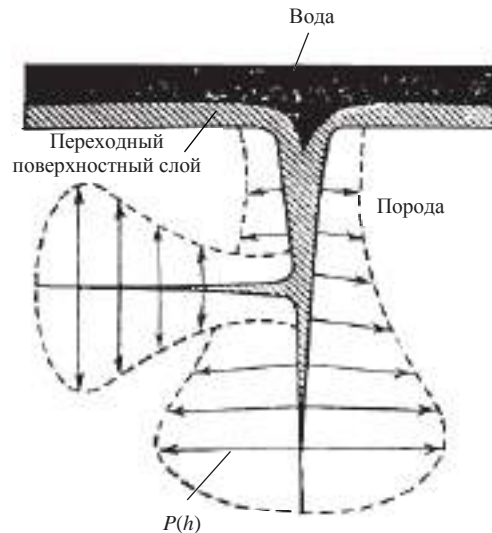


Рис. 5. Схема развития микротрещин и расклинивающего давления смачивающих пленок жидкости

Fig. 5. Development scheme of microcracks and wedging pressure of wetting films of liquid

максимальное значение, так как значение η для воды минимально. При этом гидрофильные твердые тела, к которым относятся почти все горные породы, легко разрушаются в воде.

На разрушение ГП существенно влияет расклинивающее давление, максимальное значение которого приближенно определяется по следующей формуле:

$$P_{\max} \approx 2\sigma_{1,2} / l_{\min},$$

где $\sigma = 73$ эрг/см²; l_{\min} – минимальная ширина щели.

Значение P_{\max} может достигать 230 МПа.

Образование водных оболочек на поверхности твердых тел и изменение их толщины может происходить по следующим причинам. Во-первых, молекулы, ионы или атомы кристаллической решетки ГП, находящиеся на поверхности, за счет адсорбционных молекулярных сил притягивают молекулы воды. Такая гидратация может быть значительно повышена за счет адсорбции ионов. Более гидрофильные ионы электролита (воды) понижают твердость, т. е. ионы сильнее и в большом количестве связывают дипольные молекулы воды. Во-вторых, ионы – понизители твердости – могут адсорбироваться на поверхности твердых тел с образованием так называемого двойного электрического слоя. Степень гидратации поверхности за счет этого слоя в известной степени характеризуется величиной электрокинетического потенциала.

Выводы и область применения результатов. При набухании нагруженной ГП происходит увеличение ее объема. Молекулы воды, размеры которых очень малы, под действием капиллярных, двухмерных и расклинивающих давлений

– активное раздвигающее действие прослоек воды во всех тех наиболее узких участках клиновидных микротрещин, куда только эти прослойки могут проникать;

– затруднение или замедление смыкания зародышевых участков микротрещин под влиянием адсорбционных слоев и сольватных пленок воды после снятия внешних усилий.

Глубина проникновения воды в микротрещины за время t может быть определена по следующей формуле:

$$x = [\sigma \cos \theta / 2\eta l t]^{1/2}, \quad (2)$$

где σ – поверхностное натяжение воды; θ – угол смачивания породы водой; l – ширина щели; η – вязкость воды.

Как видно из формулы (2), глубина проникновения воды по сравнению с другими жидкостями имеет макси-

проникают в пространство между поверхностями микротрещин. При этом в процессе адсорбции молекулы воды образуют кластеры (рис. 2), и создаваемое давление в отдельных случаях может достигать десятков и даже сотен МПа, т. е. эквивалентно внешнему давлению, которое приложено в ГП. В тех случаях, когда суммарный эффект, создаваемый внешним нагружением и давлением набухания, превышает прочность ГП, происходит соединение ослабленных мест (трещин) в одну линию и ее разрыв, освобождается огромное количество энергии в виде упругих волн – возникает землетрясение. Все остальные трещины за счет молекулярных сил смыкаются, возрастают модуль упругости ГП и скорость распространения волны.

Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании землетрясений путем определения механизма воздействия подземных вод на микротрещины горных пород.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Габуда С. П. Связанная вода. Факты и гипотезы. Новосибирск: Наука, 1982. 159 с.
2. Павлов Н. Н. Неорганическая химия. М.: Высшая школа, 1986. 336 с.
3. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита / пер. с англ. М.: Мир, 1976. 782 с.
4. Рзаев Аб. Г., Расулов С. Р. Информационная основа биологического нейрона // Известия Азербайджанской инженерной академии. 2015. Т. 7. № 1. С. 121–132.
5. Crampin S., Gao J., Bukits Y. A review of retrospective stress-forecasts of earthquakes and eruptions. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2015.05.008>.
6. Rodkin M. V., Tikhonov I. N., 2014. Seismic Regime in the Vicinity of the 2011 Tohoku Mega Earthquake (Japan. Mw – 9). Pure and Applied Geophysics. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00024-013-0768-5>.
7. Николаевский В. Н., Собисевич Л. Е. Природа бифокального очага землетрясения и предвестники удара // Геофизический журнал. 2015. Т. 37. № 4. С. 51–74.
8. Траскин В. Ю. Эффект Ребиндера в тектонофизике // Физика Земли. 2009. № 11. С. 952–963.
9. Траскин В. Ю., Скворцова З. Н. Эффект Ребиндера в геодинамических процессах // Флюиды и геодинамика. М.: Наука, 2006. С. 147–164.
10. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды. М.: Наука, 1979. 384 с.
11. Муравьев В. М. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. М.: Недра, 1978. 448 с.
12. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1989. 464 с.
13. Rodkin M. V., Tikhonov I. N. The typical seismic behavior in the vicinity of a large earthquake. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpps.2016.04.001>.
14. Рзаев Аб. Г., Расулов С. Р., Оруджев В. В., Абдурахманова А. М. Определение петрофизических характеристик геологически неоднородных пластов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 4. С. 18–21.
15. Грей Дж. Р., Дарли Г. С. Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей) / пер. с англ. М.: Недра, 1985. 509 с.
16. Саушин А. З., Журавлев Г. И., Лямина Н. Ф. Механизм взаимодействия глинистых пород с фильтратом бурового раствора // Нефтегазовые технологии. 2010. № 6. С. 3–4.
17. Ребиндер П. А., Венстрем Е. К. Влияние среды и адсорбционных слоев на пластическое течение металлов // Известия АН СССР. Серия физическая. 1973. № 4/5. С. 531–550.

Поступила в редакцию 14 июня 2018 года

Для цитирования: Рзаев Аб. Г., Расулов С. Р. Особенности воздействия подземных вод на микротрещины горных пород // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 56–65.

Сведения об авторах:

Рзаев Аббас Гейдар оглы – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института систем управления Национальной академии наук Азербайджана. E-mail: abbas_r@mail.ru
Расулов Сакият Рауф оглы – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной безопасности и охраны труда Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности. E-mail: rasulovsakit@gmail.com

FEATURES OF UNDERGROUND WATERS INFLUENCE ON ROCKS MICROCRACKS

Rzaev Ab. G.¹, Rasulov S. R.²

¹ Institute of Control Systems, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan.

² Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan.

Introduction. The ability of rock to interact with deep water is closely related to the anomalous properties of water: a quick-dissolving and dissociating characteristic, an anomalously high boiling point, polarity and surface activity of molecules. In this case, water molecules in the presence of other polar molecules are capable of forming hydrogen bridges between the oxygen atoms of two nearby molecules so that the hydrogen atom is located on the segment connecting the oxygen atoms. The formation of tetrahedral nuclei is an anomaly of a liquid crystal of water. In this aspect, the study of the features of the interaction of liquid water crystal with rock cracks, leading to the destruction of the latter is an important task.

Research aim is to determine the mechanism of interaction of rock with deep water and the development of physical models of liquid water crystal to determine the role of the latter in the destruction of rocks.

Research methodologies. The paper analyzes the current state of problems in determining the mechanism of interaction between deep water and rock. A new approach to the definition of this mechanism is proposed. It is shown that deep water is one of the determining factors of rock destruction.

Research results. The physical model of a liquid water crystal consisting of 92 molecules has been constructed. New approach to the determination of interaction between deep water and rock cracks has been proposed.

Conclusions and scope of the results. An integrated approach was used to analyze the features of the mechanism of rock interaction with deep water. Mathematical models of the process of filtering water into rock cracks leading to swelling and rupture of the latter have been developed. It is shown that the value of the wedging pressure can reach up to a value of 230 MPa, which is significantly higher than the stability limit of many rocks. The results can be used to predict earthquakes by determining the mechanism of interaction of groundwater with rock microcracks.

Key words: crack; rock; deep water; pressure; swelling; intermolecular force.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-56-65

REFERENCES

- Gabuda S. P. [Fixed water. Facts and hypotheses]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 159 p.
- Pavlov N. N. [Inorganic chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. 336 p.
- Breck D. [Zeolite molecular sieves. Transl. from English]. Moscow, Mir Publ., 1976. 782 p.
- Rzaev Ab. G., Rasulov S. R. [Informational foundation of a biological neuron]. *Izvestiya Azerbaidzhanskoi Inzhenernoi Akademii – Bulletin of the Azerbaijan Academy of Engineering*, 2015, vol. 7, no. 1, pp.121–132.
- Crampin S., Gao J., Bukits Y. A review of retrospective stress-forecasts of earthquakes and eruptions. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2015.05.008>
- Rodkin M. V., Tikhonov I. N., 2014. Seismic Regime in the Vicinity of the 2011 Tohoku Mega Earthquake (Japan. Mw – 9). *Pure and Applied Geophysics*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s00024-013-0768-5>.
- Nikolaevskii V. N., Sobisevich L. E. [The nature of bifocal earthquake focus and the precursors of a rock bump]. *Geofizicheskii zhurnal – Geophysical Journal*, 2015, vol. 37, no. 4, pp. 51–74. (In Russ.)
- Traskin V. Iu. [Rehbinder effect in tectonophysics]. *Fizika Zemli – Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2009, no. 11, pp. 952–963. (In Russ.)
- Traskin V. Iu., Skvortsova Z. N. [Rehbinder effect in geodynamic processes]. [Anthology “Fluids and Geodynamics”]. Moscow, Nauka Publ., 2006, pp. 147–164. (In Russ.)
- Rehbinder P. A. [Surface phenomena in dispersed systems. Physical-chemical mechanics. Selected works]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 384 p.
- Murav'ev V. M. [Oil and gas wells production]. Moscow, Nedra Publ., 1978. 448 p.
- Frolov Iu. G. [The course of colloid chemistry. Surface phenomena and dispersed systems]. Moscow, Khimia Publ., 1989. 464 p.
- Rodkin M. V., Tikhonov I. N. The typical seismic behavior in the vicinity of a large earthquake. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pps.2016.04.001>.
- Rzaev Ab. G., Rasulov S. R., Orudzhev V. V., Abdurakhmanova A. M. [Determination of petrophysical characteristics of geologically inhomogeneous beds]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiykh i gazovykh mestorozhdenii – Geology, Geophysics and Exploitation of Oil and Gas Fields*, 2017, no. 4, pp. 18–21. (In Russ.)
- Gray G. R., Darley H. C. H. [Composition and properties of drilling and completion fluids. Transl. from English]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 509 p.
- Saushin A. Z., Zhuravlev G. I., Liamina N. F. [Mechanism of interaction between clays and drilling fluid filtrate]. *Neftegazovye tekhnologii – Oil and Gas Technologies*, 2010, no. 6, pp. 3–4. (In Russ.)

17. Reh binder P. A., Venstrem E. K. [The influence of the medium and adsorption layers on yielding of metal]. *Izvestiia AN SSSR. Seriya fizicheskaya – Proceedings of USSR Academy of Sciences. Physical Series*, 1973, no. 4/5, pp. 531–550. (In Russ.)

Information about authors:

Rzaev Abbas Geidar ogly – Doctor of Engineering Science, Professor, senior researcher, Institute of Control Systems of Azerbaijan National Academy of Sciences. E-mail: abbas_r@mail.ru

Rasulov Sakit Rauf ogly – Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Occupational Health and Safety, Azerbaijan State Oil and Industry University. E-mail: rasulovsakit@gmail.com
