

Новый механизм образования спонтанных сдвиговых трещин в земной коре (вплоть до сверхзвуковых), меняющий традиционные представления о свойствах пород на сейсмогенных глубинах и о природе землетрясений

Б.Г. Тарасов, д.т.н, г.н.с. НИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ),
Санкт-Петербург

Сегодня известно, что землетрясения в земной коре характеризуются комбинацией следующих пяти свойств: 1) зарождением на сейсмогенных глубинах, 2) приуроченностью к существующим разломам, 3) активизацией малыми сдвиговыми напряжениями (на уровне фрикционной прочности разломов и ниже), 4) малым сбросом напряжений (стресс дроп), 5) повторяющейся активностью на разломах (стик-слип). Многочисленные лабораторные исследования на моделях, воспроизводящих условия сейсмогенных глубин, показали, что такое сочетание свойств возможно только при динамическом проскальзывании по существующим разломам, когда сдвиговые напряжения достигают фрикционной прочности разломов. Как следствие, разрушение цельных прочных пород вблизи существующих разломов считается невозможным из-за недостаточного уровня напряжений.

В докладе будет представлен недавно обнаруженный механизм, который активизируется на сейсмогенных глубинах земной коры и может создавать новые динамические трещины сдвига (разломы) в цельных прочных породах при сдвиговых напряжениях значительно ниже фрикционной прочности существующих разломов. Это делает образование новых разломов приоритетным по сравнению с динамической подвижкой по старым. Новый механизм назван «веерным» по конфигурации структуры головной части динамически развивающегося разлома, которая формируется из эшелона пластинок горных пород, создаваемых трещинами отрыва на кончике разлома. Веерная структура обладает рядом феноменальных свойств, например:

- аномально низким сдвиговым сопротивлением (близким к нулю), что способствует развитию трещин экстремальной динамики;
- способностью усиливать в десятки раз низкие приложенные напряжения до значений, превышающих прочность породы, что создает условие для разрушения цельных прочных пород при низких сдвиговых напряжениях;
- созданием силового дисбаланса в голове трещины, вызывающего спонтанное ее продвижение;
- малым сбросом напряжений (стресс дроп), сопровождающим процесс разрушения;
- организацией нового принципа энергоснабжения кончика бегущей трещины, что позволяет развитие сверхзвуковых скоростей.

Веерный механизм активизируется в условиях объемных напряжений, соответствующих сейсмогенным глубинам в земной коре, и определяет глубины динамической активности. Новые разломы создаются на некотором расстоянии от существующих разломов, которые выполняют роль триггеров для запуска веерного механизма. Образование новых разломов вблизи существующих создает иллюзию стик-слип активности старых разломов. Землетрясения, вызванные веерным механизмом, характеризуются аналогичной комбинацией перечисленных выше пяти свойств, которые сегодня приписываются исключительно стик-слип механизму. Веерный механизм является самым опасным механизмом разрушения в земной коре и создает подавляющее большинство землетрясений.

Еще одной важной особенностью веерного механизма является специфическая структура образованных разломов, которая обладает высокой фильтрационно-емкостной способностью, что создает пустотное пространство на больших глубинах для аккумуляции полезных ископаемых. Веерный механизм может быть активизирован искусственно на сейсмогенных глубинах земной коры, что открывает новые возможности для создания глубинных коллекторов для петро-теплоэлектростанций, а также для увеличения извлекаемости трудноизвлекаемых жидких и газообразных запасов.

Основными причинами того, что веерный механизм не был обнаружен ранее являются следующие два факта: i) в природе веер существует только на сейсмических глубинах, а при поднятии разломов к поверхности он рассыпается; ii) все существующие сегодня испытательные машины не в состоянии контролировать процесс спонтанного разрушения образцов горных пород, управляемого веерным механизмом. В докладе объясняется новый принцип контроля в машине, разработанной автором, который позволил обнаружить феноменальные свойства горных пород в условиях сейсмогенных глубин. В докладе будет впервые объединена вся обширная информация о веерном механизме, ранее опубликованная по частям во множестве научных статей.

Список статей по теме доклада

- Tarasov, B.G. 2008. Intersonic shear rupture mechanism. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*. 2008, 45,6, pp. 914-928.
- Tarasov, B. G. and M.F. Randolph. 2008. Frictionless shear at great depth and other paradoxes of hard rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*. 45, 3, pp. 316-328.
- Tarasov, B.G. 2010. Superbrittleness of rocks at high confining pressure. Keynote Address in Fifth International Seminar on Deep and High Stress Mining, Santiago, Chile, 119-133.
- Tarasov, B.G. 2011. Universal scale of brittleness for rocks failed at compression. 13th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, Melbourne, Australia, 669-673.
- Tarasov B.G. and M.F. Randolph. 2011. Superbrittleness of rocks and earthquake activity. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*. 48: 888-898.
- Tarasov B.G. 2013. Depth distribution of lithospheric strength determined by the self-unbalancing shear rupture mechanism. *Eurock*, 165-170.
- Tarasov B.G. and Guzev M.A. 2013 New insight into the nature of size dependence and the lower limit of rock strength. 8th International symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines, Saint Petersburg-Moscow, 31-40.
- Tarasov B.G. and Potvin Y. 2013. Universal criteria for rock brittleness estimation under triaxial compression. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 59, 57-69.
- Tarasov, BG 2014, Hitherto unknown shear rupture mechanism as a source of instability in intact hard rocks at highly confined compression, *Tectonophysics*, vol. 621, pp. 69–84.
- Tarasov, BG 2016, Shear fractures of extreme dynamics, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, vol. 49, no. 10, pp. 3,999–4,021.
- Tarasov, BG & Randolph, MF 2016, Improved concept of lithospheric strength and earthquake activity at shallow depths based upon the fan-head dynamic shear rupture mechanism, *Tectonophysics*, vol. 667, pp. 124–143.

- Tarasov B.G., Sadovskii V.M. (2016). Modeling of fan formation in a shear rupture head on the basis of singular solutions of plane elasticity. AIP Conference Proceedings. V. 1773. P. 080006-1–080006-7. DOI: 10.1063/1.4964990.
- Tarasov B.G. 2017. Shear ruptures of extreme dynamics in laboratory and natural conditions. Keynote addresses on Eighth International Conference on Deep and High Stress Mining – J Wesseloo (ed), Perth, ISBN 978-0-9924810-6-3, 1-48.
- Tarasov B.G., Guzev M.A, Sadovskii VM, Cassidy MJ. 2017. Modelling the mechanical structure of extreme shear ruptures with friction approaching zero generated in brittle materials. *International Journal of Fracture* DOI 10.1007/s10704-017-0223-1
- Tarasov BG & Stacey TR. 2017. Features of the Energy Balance and Fragmentation Mechanisms at Spontaneous Failure of Class I and Class II. *Rock Mechanics and Rock Engineering* (2017) 50:2563–2584 DOI 10.1007/s00603-017-1251-x
- Tarasov BG. 2019. Dramatic weakening and embrittlement of intact hard rocks in the earth’s crust at seismic depths. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.85413>
- Tarasov B.G. 2023. New physics of supersonic ruptures. *Deep Underground Science and Engineering*. 2023;2:207–244..
- Tarasov B.G. 2023. Fan-hinged shear instead of frictional stick-slip as the main and most dangerous mechanism of natural, induced and volcanic earthquakes in the earth’s crust. *Deep Underground Science and Engineering*. 2023;1–32.
- Тарасов Б.Г. (2024) Веерный механизм создания динамических разломов с высокими фильтрационно-емкостными свойствами на сейсмогенных глубинах земной коры. *Геофизические технологии*. 2024. No 1. С. 118–186. www.rjgt.ru Russian Journal of Geophysical Technologies. 2024. No. 1. P. 118–186.

Информация об авторе

Тарасов Борис Григорьевич, ктн – 1984, дтн - 1992. Стаж работы в геомеханике 48 лет - сотрудник ВНИМИ 1977-1991, профессор Ленинградского горного института 1992-1999, профессор Западного Австралийского университета 2000-2018, профессор Дальневосточного федерального университета 2019-2021, главный научный сотрудник ВНИМИ с 2022. Руководил научным центром «Геотест» 1992-1999 и лабораторией геомеханики 2003-2018.