



**ГЛУБИННАЯ ТЕКТОНИКА И ЕЕ СВЯЗЬ С ДИНАМИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ, ВЫЗВАННЫМИ ГОРНОРУДНЫМИ РАБОТАМИ
(ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ КСЕНОЛИТОВ)**

Ю. С. Шевченко

*Читинский филиал ИГД СО РАН, E-mail: leshii.ru@list.ru,
ул. Алек-Заводская 30, г. Чита 672010, Россия*

Рассмотрена возможная связь возникновения катастрофических ситуаций (землетрясения, горные удары и др.) в условиях, когда, казалось бы, для этого отсутствовали какие-либо предпосылки, с проявлениями тектонических процессов в недрах Земли на уровне нижняя кора-верхняя мантия. Показано, что такая тектоника отмечается в базит-гипербазитовых ксенолитах, несущих явные признаки глубинной деформации (двойникование оливинов, изогнутые кристаллы, дезинтегрированные зерна шпинели, предпочтительная ориентация оптических индикатрис минералов и др.). Указанная связь исследована с точки зрения релаксационной реакции массивов пород, самих пород и их элементных составляющих на перемещения масс в глубинах Земли.

Тектоника, ксенолиты, релаксационные явления, горные породы, катастрофические ситуации, горнорудные работы

**DEEP-SEATED TECTONICS AND ITS RELATIONSHIP TO DYNAMIC
PROCESSES CAUSED BY ORE MINING
(ACCORDING TO XENOLITH STUDY)**

Yu. S. Shevchenko

*Chita Division of the Chinalak Institute of Mining, Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: leshii.ru@list.ru, ul. Aleksandro-Zavodskaya 30, Chita 672010, Russia*

The paper examines a possible relationship of the occurrence of catastrophic situations (earthquakes, rock bursts, etc.) in unordinary conditions and manifestations of tectonic processes in the bowels of the Earth at the "lower crust-upper mantle" level. It is shown that such tectonics is observed in basite-ultrabasite xenoliths bearing clear features of deep-seated deformation (olivine twinning, curved crystals, drag grains of spinel, preferred orientation of optical indicatrices of minerals, etc.). The mentioned relationship is studied from the viewpoint of relaxation reaction of rock masses, rocks and their element components on mass displacements in the Earth's depths.

Tectonics, xenoliths, relaxation phenomena, rocks, catastrophic situations, ore mining

В горнорудной практике известны случаи возникновения катастрофических и порой необъяснимых ситуаций (землетрясения, горные удары, сдвиги блоков горных пород и др.) в условиях, когда, казалось бы, для этого отсутствовали какие-либо предпосылки. Чаще всего такие ситуации объяснялись стечением случайных обстоятельств, отсутствием должного прогнозирования динамических явлений, человеческим фактором. Но если учесть, во-первых, тенденцию перехода от открытых работ по добыче полезных ископаемых к подземным и, во-вторых,

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-00757).

усиливающееся воздействие человека на недра, когда оно приводит к накоплению напряжений в массивах горных пород вплоть до критических значений, можно предполагать и определенную связь между указанными ситуациями и геодинамическими явлениями в земной коре. В данном случае речь идет о необходимости сбора информации о характере и особенностях глубинной тектоники и связи последствий ее проявления на больших глубинах с техногенными объектами и структурами в верхних слоях земной коры. Такая тема в настоящее время принята к рассмотрению в Читинском филиале ИГД СО РАН.

Косвенно многими исследователями признается, что приповерхностные геодинамические процессы во многом связаны с тектоническими движениями, происходящими даже на уровне нижней коры — верхней мантии. В настоящее время нужно признать, что основными прямыми признаками существования глубинной тектоники в недрах Земли являются признаки деформаций и соответствующие структурно-текстурные особенности, запечатленные в базит-гипербазитовых ксенолитах, выносимых на земную поверхность магматическими расплавами. В данных объектах, несмотря на достаточно резкую смену термодинамических и механических условий, вызывающих дезинтеграцию, подплавление, перекристаллизацию, сохраняются следы среды и процессов, проявляющихся на уровнях глубин $n-n10$ км. Действительно, в значительной части ксенолитов, относимых к глубинному базит-гипербазитовому ряду, фиксируются такие особенности их внутреннего строения, как полосчатость, уплощенность, жилы и прожилки, зоны и полосы милонитизации, раздробленные и растащенные в стороны (чаще в одном каком-либо направлении) зерна и фрагменты зерен шпинели, признаки деформационного искривления кристаллов и т. д. Причем на фоне, например, структур рекристаллизации, кумулятивных текстур, для глубинных ксенолитов типичны признаки деформации, сходные со структурами перидотитов из альпинотипных массивов офиолитовых зон: пластинчатая гранобластовая структура, порфиорокластическая структура, ярко выраженная предпочтительность ориентировки минералов, их оптических индикатрис и т. п. Поскольку в любой системе даже в условиях внешнего воздействия происходят релаксационные явления, в глубинных породах при тех или иных динамических процессах неизбежно должны происходить изменения, фиксируемые в ксенолитах (отторженцах данных пород) в виде перечисленных признаков.

В 70-х годах прошлого столетия экспериментальными работами доказана реальность подобных явлений в ксенолитах. Так, выяснено, что деформационные структуры и предпочтительные ориентировки при высоких температурах от 800 до 1300 °С и давлениях от 5 до 20 и более кбар возникают за счет внутрикристаллической трансляции (плоскостных сдвигов, скольжений) [1–3]. По итогам опытных работ с синтетическими дунитами, проведенными в [4], сделан вывод, что с направлением оси [010] чаще всего совпадали оси укорочения, а плоскости уплощенности оказывались параллельными [100] и [001]. В экспериментах по синтезу двойников оливинов при высоких $P-T$ условиях подтверждено, что подобные признаки действительно могут служить индикатором глубинности пород и наличия стрессовых геодинамических процессов в недрах Земли [5, 6]. При этом микроструктурный анализ образцов показал, что оси эллипсоидов кристаллов оливина ориентируются по направлению прилагаемой нагрузки. Изучение ксенолитов ряда вулканов Камчатки [7] подтвердило, что поворот осей Np оптической индикатрисы минералов в соответствии с направлением действующих сил привел к снижению их влияния.

Указанная предпочтительность ориентировки минералов и их оптических осей (равно как и эллипсоидов напряжений) стала, видимо, самым примечательным признаком проявления глубинной тектоники. Это характерно для ксенолитов, взятых из вулканитов разных регионов Земли. Подобная ориентировка под действием глубинных негидростатических напряжений приводит к явной анизотропии упругих свойств минералов пород, в частности, оливинов [8–13].

При этом между плотностью упаковки направлений кристаллической решетки оливинов и скоростью продольных волн устанавливается достоверная прямая зависимость, которая сохраняется и при давлениях порядка 1 ГПа [14].

Под действием внешних (космических, связанных с орбитальным движением и вращением Земли, приливов в ее коре и т. п.) и внутренних (например, перемещением и ротацией ядра) в объеме глубинной системы образуются структурированные состояния с градиентом различных напряжений, концентрирующихся главным образом вблизи ее дефектов. Аналогичные явления характерны и для зон горнорудных отводов, особенно при подземной добыче полезных ископаемых, где самый значительный дефект — комплекс шахтных выработок. Данное состояние сопровождается релаксацией накопленных напряжений до наиболее “выгодных” (с точки зрения энергетики процесса) значений. Естественно, что эти разнознаковые процессы сопровождаются и соответствующими геодинамическими явлениями, развитие которых зависит от дефектности рассматриваемой системы. При этом последствия глубинной геодинамики неизбежно должны “накладываться” на зоны напряженности в окрестности объектов горнорудной деятельности человека. В таком случае можно предполагать либо резкое усиление динамических явлений, либо, наоборот, их нивелирование.

Следствием дефектности реальных систем или объектов становится не только вариативность их прочностных и других характеристик: чем неоднороднее, дефектнее система, будь то массивная руда, дисперсные сухие или в виде пульпы продукты, тем более нелинейные процессы отклика на внешнее воздействие в ней происходят. Существенно, что при этом волны напряжений концентрируются вблизи дефектов, инициируя проявление различных процессов, характеризующихся градиентными полями, в том числе электрическими (электрохимическими), возникающими из-за каких-то различий между элементными составляющими этой системы [15, 16]. Такие поля возникают хотя бы потому, что данные составляющие способны относительно друг друга играть роль электрода, токи между которыми протекают благодаря наличию разности физико-, химико-, электрических, электрохимических и т. п. потенциалов. Вполне возможно, что разность электрических потенциалов в недрах Земли достигает значений, при которых импульсы релаксационной разрядки принимают вид подземных грозовых молний (не это ли одна из причин землетрясений?).

Преобразование и анализ, например, известной зависимости между напряжением и деформацией [17] показывает, что релаксационный параметр в ней есть, с одной стороны, свойство материала, с другой — свойство, зависимое от параметров внешнего воздействия. Следовательно, при изменении времени и величины нагружения изменяются релаксационные отклики материала на это воздействие. Поскольку силовая активация системы приводит к определенным изменениям в ней, финальный этап напряжений сопровождается остаточными напряжениями. При этом возможны два контрастных варианта, когда промежутки между смежными активациями системы, характеризующие суммой времен нарастания t_n и релаксации t_p напряжений, оказываются больше или меньше $t_n + t_p$. Ясно, что с позиции энергетики второй вариант более эффективен в сравнении с влиянием на систему единичного мощного воздействия, поскольку в нем используется принцип наращивания остаточных напряжений.

С учетом соотношения периодичности внешнего воздействия и релаксационных характеристик нагружаемой системы получается, что при повторяющейся нагрузке возможна подпитка неравновесности состояния вещества системы. Подобные нагрузки характерны как для земных глубин (например, за счет приливных явлений), так и для горнорудного производства при добыче полезных ископаемых (технологии взрывной отбойки руды). Во-первых, существенно, что для проявления критических ситуаций совершенно необязательны огромные по величине силовые воздействия, (о чем было сказано выше), достаточно, если они будут малыми по энергетике, но чередующимися с периодом, отвечающим требованиям второго варианта. Во-вторых,

не исключена вероятность интерференционного наложения глубинных и приповерхностных деформационных волн, при котором суммарная напряженность может быть либо погашена, либо достичь критического значения. При этом система может изменяться либо количественно, либо качественно. В какой-то мере, учитывая релаксационные явления и периодичность генерации внутрикоровых напряжений, указанное наложение диктует и соответствующий переход от реакции горных пород на динамические явления к волнам маятникового типа в напряженных геосредах [18].

Вполне возможно, что именно интерференционная причина обусловила аварию на руднике “Мир” из-за неожиданного нарушения сплошности массива горных пород между карьером и подземными горными выработками. Перед этим при проведении межскважинного акустического прозвучивания в нижней части геологического разреза были зафиксированы аномально высокие скорости упругой волны [19]. Учитывая, что характеристики акустической эмиссии зависят от динамики и характеристик процесса образования трещиноватости, “портрет” которой определяется динамикой внешнего воздействия, напряженностью массива и рядом других факторов, данная причина имеет право на существование. Она же подтверждается и рядом аварий на угольных шахтах, приуроченных к периодам максимального воздействия на Землю лунной гравитации [20], когда происходят процессы перераспределения глубинных масс, генерации различных полей и др., достигающие земной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Raleigh C. B.** Mechanisms of plastic deformation of olivine, *J. Geophys. Res.*, 1968, vol. 73, no. 14, pp. 5391–5406.
2. **Carter N. L. and Ave Lallemand H. G.** High-temperature flow dunite and peridotite, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1970, vol. 81, pp. 2181–2202.
3. **Phakey P., Dollinger G., and Christie J. M.** Transmission electron microscopy of experimental deformed olivine crystals, *Geophys. Monogr.*, 1972, vol. 16, pp. 117–138.
4. **Nicolas A. and Boullier A. M.** Mechanism of flow in naturally and experimentally deformed peridotites, *Amer. J. Sci.*, 1973, vol. 273, no. 21, pp. 311–329.
5. **Shevchenko Yu. S.** Modeling of olivine twinning, *Geology and Geophysics*, 1979, no. 10, pp. 57–63. [Шевченко Ю. С. Моделирование двойникования оливинов // Геология и геофизика. — 1979. — № 10. — С. 57–63.]
6. **Shevchenko Yu. S.** Rotation of the optical indicatrix of olivine under the action of nonhydrostatic pressures, *Geology and Geophysics*, 1982, no. 3, pp. 76–80, pp. 76–80. [Шевченко Ю. С. Поворот оптической индикатрисы оливина под действием негидростатических давлений // Геология и геофизика. — 1982. — № 3. — С. 76–80.]
7. **Shevchenko Yu. S.** Xenoliths and tectonics of the lower crust-the upper mantle, Chita, ChitGU, 2009, 220 pp. [Шевченко Ю. С. Ксенолиты и тектоника нижней коры-верхней мантии. — Чита: ЧитГУ, 2009. — 220 с.]
8. **Kamb W. B.** Theory of preferred crystal orientation developed by crystallization under stressed, *J. Geol.*, 1957, vol. 67, no. 153, pp. 2311–2337.
9. **Verma R. K.** Elasticity of some high density crystals, *J. Geophys. Res.*, 1960, vol. 65, pp. 757–766.
10. **Kumazawa M.** Application of the finite strain theory to anisotropic minerals. Anisotropy of olivine in the upper mantle, *J. Earth Sci.*, 1964, vol. 12, pp. 177–186.
11. **Hess H.** Seismic anisotropy of the uppermost mantle under oceans, *Nature*, 1964, vol. 203, pp. 629–631.
12. **Chesnokov E. M.** Seismic anisotropy of the earth’s upper mantle, Moscow, Nauka, 1977, 212 pp. [Чесноков Е. М. Сейсмическая анизотропия верхней мантии Земли. — М.: Наука, 1977. — 212 с.]

13. **Dobrzhinetskaya L. F.** Deformation of igneous rocks under deep tectogenesis, Moscow, Nauka, 1989, 288 pp. [**Добржинецкая Л. Ф.** Деформации магматических пород в условиях глубинного тектогенеза. — М.: Наука, 1989. — 288 с.]
14. **Dobrzhinetskaya L. F.** Plastic deformations of olivine (Review of experimental data and microstructural analysis), Deep xenoliths and lithosphere structure, Moscow, Nauka, 1987, pp. 194–211. [**Добржинецкая Л. Ф.** Пластические деформации оливина (Обзор экспериментальных данных и микроструктурный анализ) // Глубинные ксенолиты и строение литосферы. — М.: Наука, 1987. — С. 194–211.]
15. **Deryagin B. V., Churaev N. V., and Muller V. M.** Surface force, Moscow, Nauka, 1985, 398 pp. [**Дерягин Б. В., Чураев Н. В., Муллер В. М.** Поверхностные силы. — М.: Наука, 1985. — 398 с.]
16. **Vorob'ev A. A., Tonkonogov M. P., and Veksler Yu. A.** Theoretical problems of rock physics, Moscow, Nedra, 1972, 152 pp. [**Воробьев А. А., Тонконогов М. П., Векслер Ю. А.** Теоретические вопросы физики горных пород. — М.: Недра, 1972. — 152 с.]
17. **Ruppeneit K. V. and Liberman Yu. M.** Introduction to rock mechanics, Moscow, Gosgortekhnizdat, 1960, 356 pp. [**Руппенейт К. В., Либерман Ю. М.** Введение в механику горных пород. — М.: Госгортехиздат, 1960. — 356 с.]
18. **Adushkin V. V. and Oparin V. N.** From the alternating-sign explosion response of rocks to the pendulum waves in stressed geomeidia, Part 1, Journal of Mining Science, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 3–28. [**Адушкин В. В., Опарин В. Н.** От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия — к волнам маятникового типа в напряженных геосредах. Ч. 1 // ФТПРПИ. — 2012. — № 2. — С. 3–28.]
19. **Arkhipov I. I.** Inter-well sounding of rocks, Analysis of the causes of the accident at the Mir mine [**Архипов И. И.** Межскважинное прозвучивание горных пород / Анализ причин аварии на руднике “Мир” / Available at: <https://geodiagnosics.ru/Mirnyi.htm>.]
20. **Mines** explode under the influence of lunar gravity [**Шахты** взрываются под воздействием лунной гравитации // Available at: n-space.info/news/kosmos-vzryvaet-shakhty.]