

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2017.1.9477

**МАГНИТУДА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАК ИНДИКАТОР ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕКТОНОСФЕРЫ
(к 80-летнему юбилею выдающегося грузинского сейсмолога и геофизика Лии Ивановны Тулиани)**

© 2017 **Л. Э. Левин**, к.г.-м.н.

Центр ГЕОН им В. В. Федынского, 123154, Москва ул. Маршала Тухачевского, 32/А, Россия, e-mail: geon@dol.su



*Лия Ивановна Тулиани
(1936-1996)*

Копия рукописи статьи, готовящейся Левиным Л. Э. к публикации в связи с 8-летием со дня кончины Л. И. Тулиани, была в 2004 г. передана автором В. Б. Заалишвили, с которым последний имел приятельские отношения, для ее использования при подготовке научного плана будущих совместных фундаментальных исследований глубинной геодинамики Центрального Кавказа. Насколько нам известно, публикация не состоялась, а копия рукописи в переездах нами была утеряна. Недавно она была случайно обнаружена при разборке старых бумаг. Анализ текста рукописи показал, что она имеет несколько «сырой» вид. К сожалению, последующая кончина Л. Э. Левина сняла вопрос об авторской доработке статьи. Ответственность перед ушедшими коллегами, желание реализовать задумку автора и стрем-

ление ознакомить научное сообщество с оригинальными работами Л. И. Тулиани обусловило подготовку статьи к публикации. Были внесены совершенно необходимые исправления и уточнения. При этом мы старались ограничиться минимальными изменениями в исходном тексте.

В статье приведены в сжатом виде результаты исследований, касающиеся строения литосферы Кавказского региона. Приведена оригинальная методика определения мощности литосферы по распределению энергии сейсмических волн с глубиной. Описана впервые выявленная особенность строения орогенов Большого и Малого Кавказа, где мощность литосферы оказалась меньше мощности коры. Приведено определение пространственного распространения т. н. астенولينз – зон частичного плавления в коре орогенов Большого и Малого Кавказа, являющихся очагами орогенного вулканизма. Подобные астенولينзы были также выявлены в коре орогенов Японской островной дуги и Тянь-Шаня и, таким образом, была установлена глобальная особенность строения многих постколлизийных орогенов. Приведены основные положения по эмпирическому определению квадратичной зависимости энергии сейсмических волн от магнитуды и количественной характеристики термодинамических параметров очага землетрясения и др.

Ключевые слова: глубинное строение, орогенез, сейсмическая опасность, тектоносфера, тектонодинамические и реологические параметры, магнитуда, энергия, астенولينзы, орогены, температура, деформирование очага.

Введение

Лия Ивановна Тулиани родилась в г. Тбилиси и принадлежала к семье потомственных грузинских интеллигентов. Ее прадед был священником, дед (А. Девидзе) – военным врачом и участвовал в событиях I Мировой войны на Кавказе. За свою врачебную деятельность он был неоднократно награжден орденами Российской Империи и Советского Союза. Отец (И. З. Тулиани) был организатором производства в легкой промышленности, мать (Л. А. Девидзе) была почетным инженером-строителем Грузинской ССР. Ближайшие родственники Л. И. Тулиани – крупнейшие специалисты в различных областях: палеовулканологии, связи магматизма с тектоникой (например, академик СССР Г. С. Дзоценидзе – *ред.*), палеогеоботанике, физической химии, журналистике, медицине. В семье традиционно высоко ценились глубокие знания в избранной специальности, активная работа на благо общества и достижение новых значительных результатов. Все это определило характер и жизненные цели Лии Тулиани. Она окончила Грузинский политехнический институт в Тбилиси, и затем, после замужества, переехала в Москву, где ею и был начат трудный самоотверженный путь исследований в области сложнейших проблем физики Земли и оценки сейсмической опасности.

В аспирантуре ее научными руководителями были известные советские ученые – академик АН Грузии Б. К. Балавадзе и член-корреспондент РАН (ныне академик – *ред.*) Е. В. Артюшков.

Начало 90-х годов стало тяжелейшим испытанием для российской науки. Развал СССР повлек свертывание многих важных научных исследований из-за недостаточного и даже полного отсутствия финансирования. Это, в первую очередь, тяжело отразилось на фундаментальных исследованиях – основном направлении деятельности Л. И. Тулиани. Тем не менее, она активно продолжала работать и готовила к печати свои научные труды, нашедшие воплощение в книге «Сейсмичность и сейсмическая опасность: на основе термодинамических и реологических параметров тектоносферы», которая, к сожалению, вышла уже после безвременной кончины автора.

В статье в сжатом виде приведены результаты исследований доктора физико-математических наук Л. И. Тулиани – блестящего ученого, в настоящее время все еще малоизвестного широкому кругу научного сообщества, которая прожила относительно недолгую, но крайне эмоциональную и интеллектуально насыщенную жизнь (1936–1996).

Результаты исследований.

Первый научный результат Л. И. Тулиани [Балавадзе, Тулиани, 1974] касающийся строения литосферы Кавказского региона ныне по праву может рассматриваться как классический. Это следует из ряда признаков:

- оригинальности методики определения мощности литосферы по распределению энергии сейсмических волн с глубиной;
- впервые выявленной особенности строения орогенов Большого и Малого Кавказа, где мощность литосферы оказалась меньше мощности коры;
- определения пространственного распространения т. н. астенолинз – зон частичного плавления в коре орогенов Большого и Малого Кавказа, являющихся очагами орогенного вулканизма, как это и предполагалось ранее [Dzotsenidze, 1971];
- подтверждения наличия астенолинз результатами более поздних магнитотеллурических зондирований [Гугунава, 1981]. Подобные астенолинзы были выявлены Л. И. Тулиани в коре орогенов Японской островной дуги и Тянь-Шаня и, таким образом, была установлена глобальная особенность строения многих постколлизийных орогенов;
- эмпирического определения квадратичной зависимости энергии сейсмических волн от магнитуды.
- количественной характеристики термодинамических параметров очага землетрясения и т. д.

Результаты этих и других ее научных выводов, согласно рецензий на ее посмертную монографию, подтверждены рядом исследований в разных странах мира [Исмаил-Заде, 2000; Челидзе, 2000].

Все дальнейшие исследования Л. И. Тулиани были направлены на разработку двух методик: определения реологической расслоенности тектоносферы по физико-механическим параметрам очагов землетрясений и высокоточного долго-среднесрочного прогноза координат сейсмоопасных узлов и зон.

Теоретической основой этих исследований стали современные представления о тектонике плит и расслоенности тектоносферы в зависимости от температурного режима Земли на разных глубинных уровнях и смещении отдельных ее слоев с разными скоростями.

Л. И. Тулиани доказала необходимость определения для прогноза координат сейсмоопасных узлов взаимосвязей между физико-механическими параметрами тектоносферы и направлениями миграции сейсмичности во времени и пространстве.

Для математического обоснования отражения расслоенности в волновом поле ею были предложены два эмпирических выражения:

- уравнение связи магнитуды и логарифма энергии в очаге землетрясения, удовлетворяющего всем типам волн;
- уравнение связи энергии с температурой в очагах землетрясений.

Первое из этих уравнений геометрически отражено параболой с предельным максимальным значением магнитуд 13,5. Именно в этом – его коренное отличие от известного уравнения Гутенберга-Рихтера и многих других линейных уравнений. Линейные уравнения теоретически предполагают возрастание магнитуд до бесконечности, что является невозможным.

Согласно второму уравнению диапазону магнитуд от 1 до 13,5 и выделенной энергии сейсмических волн отвечает диапазон температур от 2560°C до -273°C , или абсолютного нуля. При этом отмечается, что магнитуды, изменяющиеся от 9 до 13,5, вводятся лишь теоретически, поскольку землетрясения подобной интенсивности не имеют места в реальной обстановке Земли. В то же время подобная интенсивность вполне может иметь место на других планетах в обстановке абсолютного холода. Следует полагать, что значение разработки указанного уравнения и кардинального заключения Л. И. Тулиани будет заслуженно оценено лишь в обозримом будущем последующими поколениями ученых. При этом необходимо отметить подтверждение другого принципиального вывода о температурном рубеже -560°C между упруго-хрупким и пластично-вязким слоем литосферы [Тулиани, 1983, 1999; Тулиани, Левин, 2003]. Позднее этот рубеж был уточнен в диапазоне температур $550-600^{\circ}\text{C}$ [McNutt, 1984], т. е. практически идентичного определению Л. И. Тулиани. В целом, оба уравнения связывают в единую логическую последовательность процессы макро- и микрофизики в недрах Земли и других планет, а их принципиальная новизна и значение заслуженно отмечено всеми рецензентами посмертной монографии Л. И. Тулиани [Гасанов, Панахи, 1999; Исмаил-Заде, 2000; Красовский, 2001; Челидзе, 2000].

Л. И. Тулиани также был предложен ряд уравнений, характеризующих термодинамические параметры очагов землетрясений и устанавливающих их взаимосвязь с определенными реологическими слоями. Упруго-хрупкий слой характеризуется максимальным значением выделенной в момент землетрясения сейсмической энергии поверхностных волн, диапазоном температур $125^{\circ}\text{C} < T < 560^{\circ}\text{C}$, вязкостью $5,9 \cdot 10^{23} < \eta < 9,3 \cdot 10^{25}$ пуаз. Пластично-вязкий слой отличается максимальным значением энергии продольных P – волн и сильно заниженным значением энергии поверхностных L – волн, диапазоном температур $560^{\circ}\text{C} < T < 1150^{\circ}\text{C}$, вязкостью $2,3 \cdot 10^{22} < \eta < 5,9 \cdot 10^{23}$ пуаз. Астеносфера на глубине свыше 60 км имеет вязкость $10^{19} < \eta < 5,9 \cdot 10^{21}$ пуаз, температуру $1150^{\circ}\text{C} < T < 1500^{\circ}\text{C}$, нижний предел возможных магнитуд $2,5 < M < 4,4$. Отсюда следует, что термодинамические параметры очагов землетрясений, установленные Л. И. Тулиани, дают возможность не только выделения реологических слоев, но и выяснения геодинамического состояния сейсмоактивных регионов Земли.

В области прогноза сейсмической опасности Л. И. Тулиани было установлено, что периодичность разрушительных землетрясений зависит от скорости смещения пластично-вязких слоев с созданием нового критического напряженного состояния в упруго-хрупком слое. Направления смещения образуют сейсмоопасные зоны, а их пересечения – сейсмоопасные узлы. Позже аналогичное заключение было сделано в результате анализа данных о сейсмичности и вулканизме на Японских островах [Накава, 1998]. Это весьма показательный пример того, как аналогичные идеи возникают у ученых, работающих на значительном удалении друг от друга и никогда не общавшихся между собой.

С использованием анализа мировых сейсмологических данных по динамическим и спектральным характеристикам объемных (продольных P и поперечных S волн) и поверхностных (L – волн Лява) волн Л. И. Тулиани впервые установила, что все землетрясения по характеру деформирования очага подразделяются на три группы:

I. очаги землетрясения испытывают деформацию объема при соотношении магнитуд $M_{PH} > M_L > M_S$.

II. очаги землетрясений испытывают преимущественную деформацию формы при соотношении магнитуд $M_S > M_L > M_{PH}$.

III. очаги землетрясений находятся в переходном состоянии (из I во II группу или – наоборот) при равенстве магнитуд $M_{PH} = M_L = M_S$.

Выводы

Разработана оригинальная методика определения мощности литосферы по распределению энергии сейсмических волн с глубиной.

Впервые выявлена особенность строения орогенов Большого и Малого Кавказа, где мощность литосферы оказалась меньше мощности коры. Определено пространственное распространение т. н. астенолинз – зон частичного плавления в коре орогенов Большого и Малого Кавказа, являющихся очагами орогенного вулканизма. Подтверждено наличие астенолинз результатами более поздних магнитотеллурических зондирований. Подобные астенолинзы были выявлены также в коре орогенов Японской островной дуги и Тянь-Шаня и, таким образом, была установлена глобальная особенность строения многих постколлизийных орогенов.

Установлено, что уровень магнитуды землетрясений может рассматриваться как индикатор физико-механических параметров тектоносферы.

Определена квадратичная зависимость энергии сейсмических волн от магнитуды.

Установлена количественная характеристика термодинамических параметров очага землетрясения и др.

Для математического обоснования отражения расслоенности в волновом поле были предложены два эмпирических выражения в виде уравнения связи магнитуды и логарифма энергии в очаге землетрясения, удовлетворяющего всем типам волн и – уравнения связи энергии с температурой в очагах землетрясений.

В области прогноза сейсмической опасности было установлено, что периодичность разрушительных землетрясений зависит от скорости смещения пластично-вязких слоев с созданием нового критического напряженного состояния в упруго-хрупком слое.

Впервые установлено, что все землетрясения по характеру деформирования очага в зависимости от соотношения величин магнитуд рассчитанных по объемным и поверхностным волнам подразделяются на три группы.

Литература

1. Балавадзе Б. К., Тулиани Л. И. О неоднородности в строении коры Кавказского региона // Докл. АН СССР. – 1974. – Т. 217, № 6. – С. 1379-1382.
2. Гасанов А. Г., Панахи Б. М. О монографии Лии Ивановны Тулиани «Сейсмичность и сейсмическая опасность: на основе термодинамических и реологических

параметров тектоносферы» // Изв. наук о Земле Азерб. Акад. Наук. – 1999. – № 1. – С. 150-151.

3. Гугунава Г.Е. Взаимосвязь некоторых геофизических полей и глубинного строения Кавказа. – Тбилиси: Мецниереба, 1981. – 180 с.

4. Исмаил-Заде А.Т. Рецензия на монографию Л.И. Тулиани «Сейсмичность и сейсмическая опасность: на основе термодинамических и реологических параметров тектоносферы» // Физика Земли. – 2000. – № 4. – С. 91-92.

5. Красовский С.С. Важное наследие в области геодинамики и сейсмологии // Геофизический журнал. – 2001. – Т. 2. – С. 214-215.

6. Тулиани Л.И. Взаимосвязи между магнитудой землетрясений и термодинамическими параметрами в очаговой области // Докл. АН СССР. – 1983. – Т. 270, № 1. – С. 74-77.

7. Тулиани Л.И. Сейсмичность и сейсмическая опасность: на основе термодинамических и реологических параметров тектоносферы. – М.: Научный Мир, 1999. – 211 с.

8. Тулиани Л.И., Левин Л.Э. Опыт прогноза землетрясений на Кавказе // Докл. РАН. – 2003. – Т. 389, № 1. – С. 108-110.

9. Челидзе Т.А. Новая методика интерпретации данных о землетрясениях и ее применение // Геофизический журнал. – 2000. – Т. 22, № 6. – С. 214-215.

10. Dzotsenidze G.S. Acid volcanism of the stage of subsidence of geosynclines. IUGGA XV General Assembly Assoc. Volcanology and Chemistry of the Earth. – Moscow. – 1971. – 13 p.

11. Hayakawa M. Sismicity and volcano-activity in Japan. Proc. Inter. Sym. on New Concept in Global Tectonics. – Tsukuba, Japan. – 1998. – Pp. 220-225.

12. McNutt M. K. Lithospheric flexure and thermal anomalies // Jour. Geoph. Res. – 1984. – Vol. 39, № 0. B13. – Pp. 1180-1194.

DOI: 10.23671/VNC.2017.1.9477

**EARTHQUAKES MAGNITUDE AS THE INDICATOR OF THE
TECTONOSPHERE PHYSICOMECHANICAL PARAMETERS
(to the 80 Anniversary of the Prominent Georgian
Seismologist and Geophysicist Leah Ivanovna Tuliani)**

© 2017 **L. E. Levin**, Sc. Cand. (Geol.-Min.)

Fedynsky V. V. GEON Center, Russia, 123154, Moscow, Marshal Tukhachevsky str.,
32/A, e-mail: geon@dol.su

Results of studies, which are concerned the Caucasian region lithosphere structure are given in the compressed form. The original procedure of the lithosphere thickness determination from the energy distribution of seismic waves with the depth is given. The first time revealed special feature of the large and small Caucasus orogens structure is described, where the lithosphere thickness proved to be less than the thickness of crust. The three-dimensional propagation determination of the so-called astenolenses – zones of partial melting in the crust of the large and small Caucasus orogens, which are the centers of orogenic volcanism is given. Similar astenolenses were also revealed in the orogens crust of Japanese island arc and Tien Shan and was, thus, established the global special feature of the structure of many postcollision orogens. Basic provision of the quadratic dependence of seismic waves energy on the magnitude empirical determination and the quantitative characteristic of the thermodynamic parameters of the seismic center and others are given.

Keywords: deep structure, plate, seismic hazard, tektonosfera, tektonodinamic and rheological parameters, magnitude, energy, astenolens, orogens, temperature, focus deformation.