

УДК 530.343, 534.11

DOI: 10.23671/VNC.2013.4.55522

## НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЛУБИННОМ СТРОЕНИИ ОСЕТИНСКОГО СЕКТОРА БОЛЬШОГО КАВКАЗА

© 2013 Е. А. Рогожин<sup>1</sup>, д.г.-м.н., проф., А. В. Горбатиков<sup>1</sup>, к.ф.-м.н.,  
В. Б. Заалишвили<sup>2</sup>, д.ф.-м.н., проф., М. Ю. Степанова<sup>1</sup>, Ю. В. Харазова<sup>1</sup>,  
Н. В. Андреева<sup>1</sup>, Д. А. Мельков<sup>2</sup>, к.т.н., Б. В. Дзеранов<sup>2</sup>, к.г.-м.н.,  
Б. А. Дзебоев<sup>2</sup>, А. Ф. Габараев<sup>2</sup>, асп.

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва,  
ул. Б. Грузинская, 10, e-mail: eurog@ifz.ru

<sup>2</sup>Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Россия, 362002,  
г. Владикавказ, ул. Маркова 93а, e-mail: cgi\_ras@mail.ru

Составлен профиль МСЗ в Осетинском секторе Большого Кавказа. Получена информация о глубинном строении складчатого сооружения. По результатам геолого-геофизического изучения сделаны заключения о глубинном строении Большого Кавказа.

**Ключевые слова:** микросейсмическое зондирование, литосфера, орогенез.

Северный Кавказ является наиболее геодинамически активным регионом европейской части Российской Федерации. Ранее проведенные здесь исследования альпийской складчатости и орогенеза, в частности, количественные оценки горизонтального сокращения поверхности базировались в основном на абстрактных представлениях о складкообразовании и горообразовании в результате коллизии Евразийской и Аравийской литосферных плит. При этом результаты геодезических наблюдений за горизонтальными движениями поверхности методом GPS как бы подтверждают эти представления.

В. В. Белоусов в 80-е-90-е годы прошлого века, рассматривавший Кавказ как природную тектоническую лабораторию, придерживался иного мнения о природе сил, вносящих основной вклад в процессы орогенеза и складчатости. Он полагал, что внутренние процессы дифференциации вещества в недрах и адвективные движения в верхних горизонтах литосферы вполне могут обеспечить внутренние деформации в кавказском сегменте альпийского пояса [Белоусов, 1982].

Для адекватного решения вопроса о вкладе процесса сближения литосферных плит и внутренних процессов в литосфере в новейшую и современную геодинамику региона не хватает данных о глубинном строении земной коры и верхов мантии. Проведенные в 60-е-70-е годы XX века геофизические исследования, использовавшие в основном методы ГСЗ и МОВЗ, оказались недостаточными для построения реалистичной геодинамической модели региона. Поэтому представления о причинах деформаций в подвижной системе остаются не выясненными окончательно.

Использование разработанного в последнее десятилетие и активно применяемого в разных геодинамических обстановках метода микросейсмического зондирования (МСЗ) в комплексе с другими геолого-геофизическими методами открывает новые возможности для понимания глубинного строения Большого Кавказа и причин новейшего орогенеза и складчатости [Горбатиков и др., 2011].

Метод микросейсмического зондирования (ММЗ) [Gorbatikov et al., 2004; Горбати́ков, Степанова, 2008; Горбати́ков и др., 2008; Горбати́ков, Цуканов, 2011] относится к группе пассивных методов сейсморазведки и может применяться при решении геолого-геофизических и структурных задач для различных классов геологических объектов в различных географических и климатических условиях. К настоящему времени накоплен определенный опыт использования ММЗ в научно-исследовательских и промышленных проектах на территории России, стран СНГ и за рубежом [Горбати́ков и др., 2008; Горбати́ков и др., 2009; Горбати́ков и др., 2010].

Модель формирования микросейсмического поля в ММЗ не исходит из обязательной слоистости среды. В этой связи считается, что основной вклад в микросейсмическое поле вносится фундаментальными модами Рэлея, а наличие высших мод минимально. Информативным параметром (полезным сигналом) в ММЗ является искажение амплитудного поля при взаимодействии со скоростными неоднородностями. Фазовая информация не используется. Форма и глубина залегания неоднородности оценивается исходя из распределения искажения на поверхности и частоте, на которой это искажение проявляется. В [Горбати́ков, Цуканов, 2011] показано, что на поверхности Земли над высокоскоростными неоднородностями (скорости упругих волн в неоднородности выше, чем во вмещающей среде) спектральные амплитуды в определенном частотном диапазоне уменьшаются, а над низкоскоростными (скорости ниже, чем во вмещающей) – возрастают. Существует критическая частота  $f$  волны Рэлея, для которой искажения от неоднородности, залегающей на глубине  $H$  максимальны по сравнению с аналогичными неоднородностями на других глубинах. Эта частота  $f$  связана с глубиной  $H$  и соответствующей скоростью фундаментальной моды волны Рэлея  $V_R(f)$  через соотношение:  $H \approx 0.4 \cdot V_R(f)/f$ . Это подтверждено исследованиями геологических объектов различного масштаба и генезиса и модельными расчетами. Данное соотношение используется для обратной процедуры оценки глубины залегания неизвестной неоднородности, формирующей амплитудные искажения (которые мы можем наблюдать) на частоте  $f$ .

Методика проведения полевых измерений сводится к накоплению спектра мощности микросейсмического сигнала в течение некоторого времени последовательно от точки к точке вдоль профиля одним или несколькими переносными датчиками. Одновременно регистрируется микросейсмический сигнал на опорной точке в пределах исследуемого полигона. Коррекция на нее выполняется для устранения эффекта нестационарности зондирующего микросейсмического сигнала. В зависимости от поставленной задачи возможно проведение как профильной, так и площадной съемки.

Основные закономерности формирования сигнала в ММЗ, полученные на численной модели, находятся в хорошем соответствии с результатами полевых экспериментов. Тем не менее, в ряде экспериментальных наблюдений было обнаружено, что полученные изображения не соответствуют результатам описанной серии численных расчетов. В частности это относится к возможности раздельного наблюдения двух субвертикальных структур на глубинах, где, в соответствии с расчетами, изображения должны сливаться в одно, то есть, наблюдается «сверхразрешение». Это обнаруженное несоответствие между результатами расчетов и экспериментов потребовало проведения дополнительного исследования, в ходе которого было показано, что эффект «сверхразрешения» может наблюдаться, если коэффициент Пуассона материала включения приближается к нулевому значению. В природных условиях это может означать наличие развитой микротрещиноватости.

К настоящему времени на численных моделях изучены вопросы: 1) о влиянии коэффициента Пуассона неоднородности на ее изображение в микросейсмическом поле; 2) об оценке величины нелинейного эффекта амплитудной реакции в ММЗ в случае двух близкорасположенных заглубленных тел.

Интересно, что субвертикальные геологические объекты и скоростные границы для ММЗ являются предпочтительными объектами, а субгоризонтальные границы – неудобными объектами. В отличие от этого для сейсморазведки МОВ субгоризонтальные геологические тела и скоростные границы являются предпочтительными объектами. Это объясняется взаимным пространственным положением волновых фронтов и скоростных границ. Так, идеально горизонтальная в пределах измерительного профиля скоростная граница в ММЗ будет незаметна. О горизонтальных границах в ММЗ можно судить по нарушению характера волновой картины, по аналогии с тем, как определяют присутствие и положение субвертикальных разломов в МОВ. В этом смысле ММЗ можно рассматривать как своеобразное «ортогональное дополнение» к МОВ.

Составлен профиль МСЗ в Осетинском секторе Большого Кавказа (рис. 1), пересекающий зоны Скалистого, Бокового и Главного хребтов, Главного Кавказского надвига. В Республике Южная Осетия профиль пересекает тектонические зоны Южного склона Большого Кавказа: Чиаурского флишевого синклинория, Гагрско-Джавского антиклинория, Рачинско-Лечхумского прогиба, Окрибо-Сачхерской переходной зоны к Дзирульскому срединному массиву (Грузинской глыбе). В совокупности с результатами локальной сейсмической томографии на Южном склоне мегантиклинория [Арефьев и др., 2006] эти материалы дают ясное представление о глубинном строении складчатого сооружения.

Результаты комплексного геолого-геофизического изучения позволяют сделать ряд заключений. Согласно результатам МСЗ кристаллический фундамент в осевой части центрального сектора Большого Кавказа (в зонах Бокового, Главного хребтов, в северной части Чиаурской флишевой зоны) в земной коре с глубины 10 км подстилается обширным телом вещества с высоким уровнем сейсмических шумов – низкоскоростным включением. Данные МТЗ (магнитотеллурическое зондирование) говорят о высоком электросопротивлении этого вещества, а данные гравиметрии – о повышенном  $\Delta g$  [Шемпелев, 2008]. Низкодобротное включение прослеживается, сокращаясь по ширине, вплоть до раздела Мохо. Это глубинное тело распадается на два отдельных объема. Один, северный подстилает зоны Главного и Бокового хребтов, а более южный лежит под зонами Южного склона – Чиаурской флишевой, Гагрско-Джавской вплоть до Рача-Лечхумской. Локальные горизонтальные неоднородности низкоскоростного включения совпадают с известными из данных ГСЗ границами разделов: подошвы фундамента, Конрада, Мохо [Павленкова, 2012]. Многие из выявленных вертикальных неоднородностей в объеме низкоскоростного тела ассоциируются с продолжением на глубину крупнейших зон разломов региона. В частности, Главный кавказский надвиг.

Под наиболее северными зонами Скалистого и Пастбищного хребтов земная кора характеризуется относительно более высокими скоростными характеристиками материала по сравнению с осевыми зонами.

На поверхности над северной частью низкоскоростного тела широко распространены новейшие и современные вулканические проявления: лавы, игнимбриты, туфы риолитового и риолит-дацитового состава.

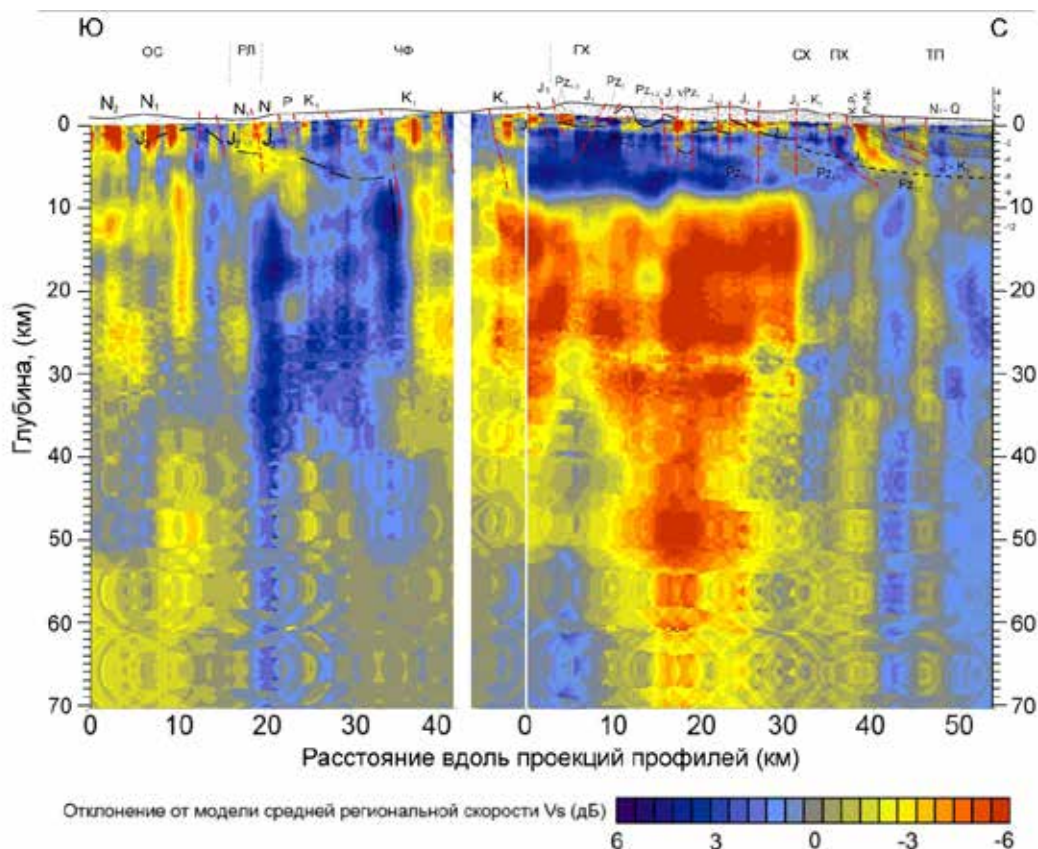


Рис. 1. Профиль МСЗ (ММЗ) вдоль линии Ардон-Цхинвал. Тектонические зоны: ОС – Окрибо-Сачхерская, РЛ – Рача-Лечхумская, ЧФ – Чиаурский флишевый синклиниорий, ГХ – Главного хребта, БХ – Бокового хребта, СХ – Скалистого хребта, ПХ – Пастбищного хребта, ТП – Терского прогиба. Разломы: КЛ – Кахетино-Лечхумский, Тб – Тибский, АК – Адайком-Казбекский, Вл – Владикавказский

По аналогии с районом Приэльбрусья низкоскоростное включение в коре характеризуется низкими скоростями и по данным сейсмической томографии может иметь кислый и средний состав материала (по-видимому, гранит-риолитового состава), к тому же в дилатантном состоянии, т.е. нарушенного многочисленными трещинами, заполненными ювенильными газами.

Над коровым включением наблюдаются наибольшие высоты рельефа. В то же время, оно существенно не влияет на распределение разных типов альпийских складчатых деформаций.

Обнаруженная региональная коровая неоднородность может быть интерпретирована в духе идей В.В. Белоусова о глубинной дифференциации вещества в верхах мантии и адвективном проникновении легкого, низкооборотногo материала в кору, обусловившем наряду с молодым вулканизмом новейший орогенез Большого Кавказа.

## Литература

1. Арефьев С.С., Рогожин Е.А., Быкова В.В., Дорбат К. Глубинная структура очаговой зоны Рачинского землетрясения по сейсмотомографическим данным. // Физика Земли, 2006, № 1, с. 30-44.
2. Белоусов В.В. Большой Кавказ как тектоническая лаборатория // Проблемы геодинамики Кавказа. М.: Наука, 1982. С. 9-13.

3. Горбати́ков А. В., Ларин Н. В., Моисеев Е. И., Беляшов А. В. Применение метода микросейсмического зондирования для изучения строения погребенной трубки взрыва // ДАН. 2009. Т. 428. №4. С. 526-530.

4. Горбати́ков А. В., Овсяченко А. Н., Рогожин Е. А., Степанова М. Ю., Ларин Н. В. Сейсмотектоника и глубинное строение зоны Владикавказского активно-го разлома // Геофизические исследования, 2011, – 12 (1). – С. 47-59.

5. Горбати́ков А. В., М. Ю. Степанова, Г. Е. Кораблев Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм. // Физика Земли. 2008. №7. С.66-84.

6. Горбати́ков А. В., Степанова М. Ю., Цуканов А. А., Тинакин О. В., Комаров А. Ю., Одинцов С. Л. Новая технология микросейсмического зондирования в задачах изучения глубинного строения месторождений нефти и газа. // ISSN 0028-2448. Нефтяное хозяйство. 2010. №6. С.15-17.

7. Горбати́ков А. В., Цуканов А. А. Моделирование волн Рэлея вблизи рассеивающих скоростных неоднородностей. Исследование возможностей метода микросейсмического зондирования // Физика Земли. 2011. №4. С.96-112.

8. Павленкова Г. А. Строение земной коры Кавказа по профилям ГСЗ Степное-Бакуриани и Волгоград-Нахичивань (результаты переинтерпретации первичных данных). // Физика Земли, 2012, №5, с. 16-25.

9. Шемпелев А. Г. Результаты глубинных геофизических исследований вдоль Геналдонского профиля//в кн. Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа, Труды международной н.-п. конференции, Владикавказ, 20-22 сентября 2007, Владикавказ, 2008, стр. 457-463.

10. Gorbatíkov A. V., Kalinina A. V., Volkov V. A., Arnosó J., Vieira R., Velez E. Results of Analysis of Data of Microseismic Survey at Lanzarote Island, Canary, Spain // Pure appl. Geophys. 2004. V. 161. P. 1561-1578.

DOI: 10.23671/VNC.2013.4.55522

## NEW IDEAS ABOUT DEEP STRUCTURE OF OSSETIAN SECTOR OF GREATER CAUCASUS

© 2013 E. A. Rogozhin, A. V. Gorbatíkov, V. B. Zaalishvili, M. Yu. Stepanova,  
Yu. V. Kharazova, N. V. Andreeva, D. A. Melkov, B. V. Dzeranov, B. A. Dzeboev,  
A. F. Gabaraev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, B. Gruzinskaya str., 10  
Moscow, Russia, 123995, e-mail: eurog@ifz.ru,

<sup>2</sup>Center of Geophysical Investigations of VSC RAS and RNO-A, Markova str. 93a,  
Vladikavkaz, Russia, 362002., E-mail: cgi\_ras@mail.ru

The MSZ profile of the ossetic sector of the large Caucasus is composed. Information about the deep structure of plicated construction is obtained. The conclusions about the deep structure of the large Caucasus are made according to the results of geological-geophysical study.

**Keywords:** microseismic zoning, lithosphere, orogenesis.