



**Беляков А. С.**  
**Лавров В.С.**  
**Николаев А. В.**

ИФЗ РАН, МОСКВА  
ИФЗ РАН, МОСКВА  
ИФЗ РАН, МОСКВА

## **О ВОЛНОВЫХ ФОРМАХ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА**

**АННОТАЦИЯ.** Изучение волновых форм микросейсмического шума в земной коре, его происхождения и изменчивости служит инструментом решения ряда научных и прикладных задач. Например, получение дополнительных аргументов для ответа на спорный вопрос о направлении движения мантийного вещества и, в конечном счёте, на вопрос, является ли радиус Земли постоянным или растущим. Оперативный прогноз землетрясений на конкретной территории относится к прикладным задачам. Рассматривается связь электромагнитной эмиссии с изменением напряжённого состояния земной коры.

Изучение волновых форм микросейсмического шума в земной коре, его происхождения и изменчивости не является самоцелью, а служит инструментом решения ряда научных и прикладных задач. Например, при рассмотрении проблем динамики литосферных плит можно получить дополнительные аргументы для ответа на спорный вопрос о направлении движения мантийного вещества и решить, в конечном счёте, является ли радиус Земли постоянным или растущим, что является научной задачей. Прикладное значение имеет оперативный прогноз землетрясений на конкретной территории. Волновые формы микросейсмического шума могут быть использованы в качестве модели процессов, предвещающих землетрясения. Кроме того, широкополосные волновые формы расширяют возможности пассивного акустического каротажа при поиске нефтяных резервуаров.

Большой научный интерес вызывает сейсмоакустическая эмиссия, непосредственно связанная с изменением напряжённого состояния земной коры. Это изменение, в свою очередь, связано с воздействием лунно-солнечных гравитационных сил и геодинамикой планеты. Если исключить влияние внешних и антропогенных факторов, то, скорее всего, всякое нарушение естественных фоновых вариаций гравитационного происхождения связано с геодинамикой. Наиболее ярко такие нарушения фоновых вариаций сейсмоакустической эмиссии проявляются в разломных зонах земной коры; нарушения должны быть особенно заметны в нижней части коры, в зонах субдукции и спрединга.

Исследование сейсмоакустической эмиссии позволяет обнаружить и проанализировать геодинамические сви-

детельства, поддерживающие одну или другую из двух конкурирующих гипотез геодинамики - тектоники плит и расширяющейся Земли. Согласно первой, на протяжении, по крайней мере, последнего миллиарда лет радиус Земли был постоянным; вторая предполагает начавшееся в юрском периоде и продолжающееся до настоящего времени увеличение радиуса Земли примерно в 1,4 раза.

Существуют в разной мере убедительные геологические свидетельства в пользу обеих гипотез. Гипотеза расширяющейся Земли, несмотря на многочисленные геологические свидетельства, не имеет пока убедительной физической модели, хотя в последнее время наметились пути преодоления этой трудности. В выборе решения решающую роль может сыграть изучение тонкой структуры волновых форм сейсмоакустической эмиссии и микросейсмичности в глубоководных желобах, обозначающих в рельефе дна океана область движения - выход ли мантийного вещества из-под континента на поверхность, погружение ли дна под континент. Казалось бы, такие яркие процессы должны были быть давно обнаружены бурением скважин на дне океана, спутниковой геодезией, геоморфологическими методами и др. Тем не менее вопрос о характере движения в глубоких разломных зонах остаётся открытым. На помощь могут прийти результаты исследования волновых форм сейсмоакустической эмиссии в уникальных местах земной коры (глубокие скважины, океанские желоба и впадины). Спутниковая геодезия свидетельствует в пользу гипотезы расширения Земли и, стало быть, выхода мантийного вещества в районе желобов на поверхность. Данные сейсмоакустических наблюдений в глубоких жело-

бах могут поддержать, либо, наоборот, опровергнуть эти, пока ещё не вполне обоснованные, заключения.

Результаты решения фундаментальной проблемы эволюции могут иметь и прикладное значение, существенным образом изменив наши представления о генезисе месторождений полезных ископаемых, обозначив новые поисковые признаки нефти, газа, газогидратов и твердых полезных ископаемых. Таким образом, локальные наблюдения в ключевых районах Земли могут стать разгадкой и путеводной идеей в решении глобальных и региональных задач восстановления геотектонической эволюции, генезиса и прогнозирования месторождений полезных ископаемых, выбора правильных направлений поисковых и разведочных исследований. К другому, не менее важному, прикладному направлению исследований относится изучение волновых форм микросейсмических событий и процессов их развития в натуральной среде, которые могут рассматриваться в качестве реальной модели сейсмического процесса при разработке алгоритмов оперативных критериев оценки сейсмической опасности.

Для успешного решения упомянутых проблем и конкретных прикладных задач было решено создать постоянно действующую глубинную обсерваторию наблюдения сейсмоакустической эмиссии на базе глубокой (5374 м) Воротилловской скважины в Нижегородской области, которая вскрыла коренные горные породы, и наблюдать *in situ* особенности зарождения и развития микроземлетрясений. Воротилловская глубокая скважина расположена в центре Восточно-Европейской платформы, в зоне сочленения Московской синеклизы и Волго-Уральской антеклизы. По фундаменту - это северо-восточное окончание Московской зоны архейско-протерозойских комплексов на сочленении Северо-Двинского и Окско-Волжского раннеархейских массивов. Решение о создании геоакустической обсерватории на базе Воротилловской глубокой скважины было принято после неудачной попытки использования для этой цели Кольской сверхглубокой скважины СГ-3. После продолжительного сейсмоакустического мониторинга СГ-3 на глубине 3050 м стало очевидно, что уровень акустических шумов индустриального происхождения настолько велик и регулярен, что практически маскирует все естественные процессы. Недостатком Воротилловской скважины является её расположение в центре уникальной импактной структуры, имеющей характерные особенности, но в отличие от СГ-3 она практически свободна от индустриальных помех, благодаря чему может быть успешно использована для мониторинга сейсмоакустической эмиссии. Есть весьма обнадеживающая вероятность, что характерные детали развития волновых форм сейсмических процессов для микроземлетрясений и землетрясений большой силы имеют реальное подобие. Микроземлетрясения в некоторых слоях верхней части (первые километры) земной коры наблюдаются довольно часто. Их число измеряется несколькими событиями в час. Поэтому в создаваемой геоакустической обсерватории накопление статистических данных, необходимых для изучения общих черт процессов, предшествующих

землетрясению, и выработки алгоритмов их анализа, будет происходить достаточно быстро.

Существенное ускорение изучения сейсмического процесса и приближения модели к разрушительным землетрясениям может быть получено при создании геоакустической обсерватории в сейсмически активном районе. Идеальным местом для геоакустических наблюдений такого рода может быть глубокая (2200 м) опытная скважина, пробуренная в процессе создания обсерватории SAFOD (The San Andreas Fault Observatory at Depth is a component of Earth Scope [www.earthscope.org]) в непосредственной близости от активного разлома Сан-Андреас на хорошо оснащённом сейсмическом полигоне в Паркфилде, Калифорния.

Высокочастотный микросейсмический шум, который мы повсеместно наблюдаем в земной коре, имеет много источников, как внутренних, так и внешних. Внутренние источники - это сейсмоакустическая эмиссия, которая возникает в твердых горных породах земной коры в основном из-за изменения их напряжённого состояния, движение флюидов и прохождение волновых колебаний от сильных землетрясений. Естественные внешние источники - это штормы, грозы, водопады, обвалы и оползни. Из искусственных внешних источников в первую очередь следует назвать водосбросы крупных гидростанций, ядерные и химические взрывы, горнодобывающие предприятия, тяжелый транспорт, в т. ч. и воздушный, запуски ракет и вибрационную технику. Особую роль в формировании микросейсмического шума играют подземные выработки и скважинные работы, связанные либо с добычей полезных ископаемых, либо с захоронением отходов производства, которые существенно изменяют баланс внутренних напряжений в горных породах и создают условия для возникновения локальной сейсмоакустической эмиссии. При геоакустических исследованиях естественных динамических явлений в верхней части земной коры все внешние источники, как естественные, так и искусственные, являются помехами, влияние которых необходимо минимизировать.

Амплитудно-частотный состав естественного подземного шума весьма специфичен: его амплитуды с повышением частоты уменьшаются в кубической зависимости от частоты, а их динамический диапазон превышает 200 дБ. Это обстоятельство долгое время не давало возможности измерить и зарегистрировать высокочастотные (килогерцы) составляющие подземного шума. Такая возможность появилась в 1985 г. благодаря изобретению и реализации нового прибора - магнитоупругого геофона, позволяющего измерять смещения в твердых и смешанных средах в широкой полосе частот (0,5 - 5000 Гц) и с динамическим диапазоном более 240 дБ. Однако при регистрации волновых форм подземного шума долгое время существовала и другая проблема, связанная с очень большим объёмом цифровых данных. В последнее время стали доступными новые аппаратно-программные средства для наблюдения и регистрации волновых форм сейсмоакустической эмиссии на цифровых носителях большой ёмкости в режиме постоянного мониторинга. Современные возможности высокопроизводительного

цифрового оборудования позволяют построить простые системы обработки высокочастотных волновых форм в режиме, максимально приближенном к реальному времени. Это, в свою очередь, даст возможность создать системы наблюдения за напряжённым состоянием верхней части земной коры и оперативно прогнозировать его изменение.

В локальных районах с повышенной сейсмической опасностью простейшая система наблюдения микросейсмического шума может состоять из установленного в коренных породах геофона, измеряющего вертикальную компоненту скорости ускорения в продольной акустической волне. Место установки должно иметь минимальный уровень внешнего шума (небольшая скважина, шахта, подвал или штольня). Выходной канал геофона

подключается к линейному входу звуковой карты персонального компьютера, включается проигрыватель *Windows Media* или иной в режиме воспроизведения звука с линейного входа, а на экране воспроизводится графический образ сигнала в виде временной диаграммы. Если компьютер имеет большой объём жесткого диска или возможность подключения внешнего диска, то микросейсмические шумы могут быть зарегистрированы в звуковых файлах типа \*.wav для последующего ситуационного анализа. Для надёжной оценки сейсмической обстановки на контролируемой территории таких систем может быть достаточно много.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 08-05-00144.*

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Аскольд Сергеевич БЕЛЯКОВ* - ведущий научный сотрудник Института физики Земли РАН, кандидат техн. наук.

*Вячеслав Степанович ЛАВРОВ* - старший научный сотрудник Института физики Земли РАН.

*Алексей Всеволодович НИКОЛАЕВ* - заведующий лабораторией Института физики Земли РАН, чл.-кор. РАН.