

## СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ, ТЕНДЕНЦИИ И ВОЗМОЖНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПИРОВАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В. И. Дубянский

*Воронежский государственный университет*

В кратком обзоре современных достижений производственной сейсморазведки и зарождающейся «пассивной сейсморазведки» проводится параллель между этими методами, использующими соответственно рассеянные и микросейсмические поля.

Несмотря на известные технологические, методические и экономические различия этих методов, предполагается их объединение в рамках прогрессивной технологии метода Микросейсмического Телескопирования земной коры.

Опыт отечественной и мировой геофизики показывает, что консолидированная Земная кора постоянно находится в поле упругих колебаний, проявляющихся на ее поверхности в виде микросейсмических волн. Эти волны имеют вид стационарного или квазистационарного во времени случайного процесса со сплошным частотным спектром, в диапазоне от долей до десятков и даже нескольких тысяч герц. Это в свою очередь означает, что колебательные процессы захватывают все оболочки Земли и доставляют к ее поверхности информацию о строении и состоянии среды на различных уровнях масштабной иерархии. Энергетический спектр микросейсм Земли находится на уровне нано-величин смещения, скоростей и ускорений колебаний, регистрируемых на дневной поверхности.

В настоящее время отмечается заметное возрастание научного и практического интереса к разработке идеи применения микросейсмических полей для геологического изучения недр. Этому способствуют очевидные и ожидаемые преимущества «пассивной сейсморазведки» по сравнению с ее индустриальными аналогами. Микросейсмическое излучение Земли несет в себе полную информацию о вещественно-структурном строении недр и, что особенно важно, о динамике современных эндогенных процессов в литосфере. Здесь не требуется применения дорогостоящих источников зондирующих импульсов (взрывов, вибраторов, ударных устройств), а также отпадает необходимость в ожидании землетрясений, выполняющих роль источников «освещения» недр в сейсмологии.

### ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАССЕЯННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Современная, высокотехнологичная 3-Д сейсморазведка основана на получении зеркальных отражений зондирующего сигнала от импедансно—контрастных неоднородностей среды и преобразовании полученных сейсмограмм в детальные изображения отражающих границ и объектов. В ряде отечественных работ последнего десятилетия убедительно показано, что сейсмограммы метода отраженных волн, помимо «чистых» отражений, содержат высокоинформативный **фон рассеянных волн**, который исторически относился к случайному полю помех. Этому способствовало развитие новых представлений о гетерогенном строении геологических сред, отклик которых на зондирующий сигнал представляет собой, в общем случае, поле рассеянных волн.

Для извлечения полезной информации из рассеянной составляющей сейсмограмм МОГТ, были созданы оригинальные методы обработки рассеянных компонент волнового поля и специальные модификации сейсморазведки. Примерами могут служить: Акустическая Низкочастотная Разведка — **АНЧАР** [1] способ **МИРО** — миграционно-го изображения рассеивающих объектов [2], Сейсмический Локатор Бокового Обзора — **СЛБО** [3].

Общая особенность указанных методов состоит в исключении зеркальных отражений из сейсмограмм и применении прогрессивных процедур обработки рассеянных волн: миграционные и фокусирующие преобразования, параметрический анализ и томография.

По результатам перечисленных выше работ установлено, что рассеянные волны содержат принципиально новую информацию о «тонких» деталях строения геологической среды, которые

слабо или совсем не проявляются в зеркально — отраженных волнах. В порядке перечисления это: локальные объекты типа тектонических нарушений, палеорусел рек, выклиниваний, органогенные постройки, коллекторы и залежи углеводородов, зоны литологических замещений, повышенной пористости и трещиноватости, аномально напряженного состояния — в осадочных и кристаллических толщах пород. Выявляются также области **гетерогенности земной коры** и верхней мантии, оконтуриваются рудные объекты и алмазоносные поля [4].

Вывод специалистов сейсморазведки таков: **геологические образования, порождающие рассеянную составляющую** в поле зеркально отраженных волн, выходят на первый план как **основные целевые объекты геолога — разведочных работ** [2].

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ, ЛОКАЦИИ И ТОМОГРАФИИ НЕДР

В отличие от индустриальной сейсморазведки, так называемая «пассивная сейсморазведка» основана на использовании **микросейсмических волн**, образующихся в земной коре за счет автоколебательных процессов земного шара, волновой динамики океанов и морей, атмосферных и космических возмущений и, очевидно, эндогенных процессов. В общем случае природные источники микросейсмического поля не достоверно или совсем не известны. Здесь мы не рассматриваем землетрясения и техногенные источники шумов.

Разномасштабные геологические объекты, постоянно находящиеся в поле упругих колебаний земли, трансформируют и/или переизлучают его в виде поверхностных (Релея и Лява), дифрагированных, резонансных, рассеянных и других типов волн. Перечисленные вторичные волны являются носителями искомой информации о самих объектах, их геофизических свойствах и местоположении в объеме среды. Геологические образования, формирующие по своему «образу и подобию» вторичные волновые поля (наведенную эмиссию), представляют собой **пассивные эмиссионные объекты (ПЭО)**, которые, как указано выше, являются основными целями геологоразведочных работ.

Известны относительно немногочисленные исследования по применению **естественных микросейсмических полей Земли** с целями изучения

ее структурного и геологического строения, а также геодинамического состояния.

Методически разработан и успешно применен метод **«Пассивной сейсморазведки»** на территориях Восточно-Европейской Платформы и горных областей Румынии [5, 6, 7]. Эти работы показали, что осадочные толщи и кристаллический фундамент платформ, зоны разломов и «сайт эффектов» могут быть классифицированы и закартированы по принадлежности к непрерывному ряду упругих, вязко-упругих и вязких сред. Мониторинг и скрининг разломных зон выявил динамику процесса релаксации среды после локального землетрясения. По микросейсмическим шумам в центре Москвы закартирован археологический объект (фрагмент каменного фундамента здания) и выполнен ряд работ по прогнозной оценке инженерно-технического состояния мостов и сооружений.

**Метод Микросейсмического Зондирования (ММЗ)** применен на острове Ланзероте Канарского архипелага, для выявления ультрабазитовой интрузии, а также на Астраханском и Тенгизском (западный Казахстан) газо-конденсатных месторождениях [8, 9]. Полученные результаты хорошо согласуются с данными высокоточной гравиметрической съемки (о. Ланзероте), сейсморазведки и глубокого бурения (Казахстан).

Предварительные результаты **районирования** докембрийского фундамента Воронежского кристаллического массива по особенностям микросейсмического шума получены в Воронежском государственном университете [10]. Доказано существование устойчивых связей между параметрами сейсмического шума и структурно-вещественным строением Земной коры, на территории около 70000 квадратных километров.

Во всех перечисленных работах применялись параметрические характеристики **спектров** микросейсмического шума, записанного в дискретных точках измерения, распределенных на площади исследования.

В особом ряду использования микросейсмического шума находятся работы

Н. Шапиро в Южной Калифорнии, США [11], где были получены высокого разрешения томографические изображения земной коры в сечениях до глубины 20 км. При этом использовались поверхностные волны Релея, которые извлекались из шумового поля микросейсм.

Недостатками перечисленных методов являются большие промежутки времени между сеансами записи микросейсм на местности (от несколь-

ких минут и часов до года и более), относительно низкая разрешающая способность методов картирования ПЭО на плоскости, которая определяется расстояниями между одиночными точками наблюдения. Требуют дальнейшего изучения закономерности распределения спектральных составляющих микросейсмического поля в объеме среды и по вертикали, что затрудняет интерпретацию результатов томографии и локации геологических неоднородностей.

**Активные эмиссионные объекты (АЭО)**, представляют собой геологические образования, самостоятельно излучающие шумовые волны. Такowymi могут быть подземные источники термальных вод, растворов, магматические очаги вулканов, термодинамические процессы в активных дизъюнктивных зонах.

Уникальный пример **локации** источников сейсмического шума на Камчатке приводится в работе [12]. Измеренные на двух площадях микросейсмические поля фокусировались в область источников **методом эмиссионной томографии**. В результате получены сейсмические изображения месторождений термальных вод (Мутновского и Начикинского) в вертикальных и горизонтальных сечениях сканируемых областей. Геометрия выявленных аномалий согласуется: с пространственным положением проводящих термальные воды структур, с вертикальным распределением температуры, с глубиной локализации теплоносителя (парогидротерм). Эти результаты убедительно свидетельствуют о практической реализуемости метода сейсмо-эмиссионной томографии для картирования и локации АЭО типа месторождений термальных вод.

Микросейсмическая локация ПЭО и АЭО, с целью получения изображений, например, интрузий их внутренней структуры, алмазоносных трубок, активных областей разломов, коры и мантии, — не проводилась.

Сопоставление приведенных примеров практического использования рассеянных волн в «активной сейсморазведке» (АС/Р) МОВ-ОГТ и микросейсмических полей в различных модификациях «пассивной сейсморазведки» (ПС/Р) показывает, что оба направления ориентированы на выявление вторичных откликов геологической среды на воздействие источников соответственно искусственного и естественного происхождения.

Как показала практика, пассивные эмиссионные объекты, отображаемые в рассеянных и микросейсмических полях, дают принципиально новую информацию о геологическом строении

изучаемых геологических объектов. Предпосылками объединения «активных» и «пассивных» сейсмических методов являются следующие объективные обстоятельства. В принципе АС/Р доступны большие и сверх-большие глубины исследования земной коры в модификации ГСЗ. Ограничения связаны с недостаточной мощностью применяемых источников, по экологическим и экономическим причинам. С другой стороны, ПС/Р, хотя и не есть инструмент сейсмологии землетрясений, в то же время свободна от указанных ограничений и уже сегодня демонстрирует результаты, сближающие ее с АС/Р.

По нашему мнению, дальнейшее развитие сейсмических методов изучения и разведки недр будет осуществляться в направлении объединения высоко развитых технологий АС/Р с новыми возможностями ПС/Р в рамках создания дешевого, экологически безупречного и геологически эффективного **метода микросейсмического телескопирования (ММТ)** недр Земли по аналогии с астрономическим телескопированием Космоса. Телескопирование в данном случае означает дистанционную визуализацию внутреннего строения земной коры и мантии путем наблюдения и преобразования микросейсмического поля Земли в высоко информативные изображения разномасштабных геологических объектов.

Создание такого метода, очевидно, потребует решения комплекса научно-технических проблем стоящих на повестке дня в современных науках о Земле. Важнейшими из них являются: выяснение роли волновых процессов в структурообразовании, геодинамике и минерагении литосферы во взаимосвязи со свойствами наблюдаемых на поверхности микросейсм [13, 14].

Ожидаемые достоинства ММТ заключаются в следующем.

1. ММТ не ограничен по глубинам исследования и поэтому позволит одновременно получать информацию о глубинном и детальном строении литосферы в диапазоне от десятков метров до сотен километров.

2. Микросейсмическое телескопирование позволит определять современное динамическое состояние геологической среды, по меньшей мере в терминах: упругое, упруго-вязкое, вязкое.

3. ММТ позволит осуществлять картирование по площади и локацию внутри осадочных и кристаллических толщ геологических неоднородностей, а также выявлять нелинейные свойства среды, которые представляют первоочередной

интерес геологоразведки, в том числе активные и пассивные эмиссионные объекты (залежи углеводородов, руды, термоисточники и техногенные объекты).

4. ММТ позволит установить дистанционные связи месторождений полезных ископаемых (рудных и возможно нерудных) с микросейсмическими свойствами вмещающей среды и тем самым откроет возможность разработки новых методов поиска и разведки минерального сырья на основе комплексирования геологических, геофизических и геохимических методов разведки.

5. ММТ явится стимулом для разработки новых аппаратных решений на уровне нанотехнологий [15].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнов С.Л., Давыдов В.Ф., Кузнецов О.Л., Графов Б.М., Сиротинский Ю.В. Явление генерации ультразвуковых волн углеводородной залежью. Диплом № 109. Научные открытия. Сб. кратких описаний, вып. 1, М., 1999 г.
2. Козлов Е.А., Баранский Н.Л., Семенцов В.Ф., Аксенова Н.А. Раздельное изображение зеркальных и рассеивающих геологических объектов по данным 3-D сейсморазведки. Технологии сейсморазведки, 2/2004, С. 4—17.
3. Кузнецов О.Л., Курьянов Ю.А., Чиркин И.А., Шленкин С.И. Сейсмический локатор бокового обзора: Геофизика, Специальный выпуск к 40-летию Тюменнефтегеофизики. 2004 г., С. 17—22.
4. Караев Н.А., Анисимов А.А., Кашкевич В.И., Травинская Т.И. Сейсмическая гетерогенность земной коры и ее отображение в поле рассеянных волн: Геофизика, № 2, 1998, С. 29—39
5. Беклемишев А.Б., Потапов О.А., Ларин Г.В., Буданов В.Г. Технология пассивной сейсморазведки при оценке состояния бассейнов, глубинных разломов и их эволюции. Приборы и системы разведочной геофизики, № 2. Изд. СО ЕАГО, Саратов, 2004, С. 24—36.
6. Беклемишев А.Б. Инструментальное изучение погребенных разломов. Доклады конференции «Строение, живая тектоника и дислокации платформ и их горноскладчатых обрамлений», ИДГ и ИФЗ РАН, М., 2003.
7. Beklemishev A.B. et al. Structural- dynamic approach to complex study of Russian platform basement and sediments, Extended Abstract Book of the 59<sup>th</sup> EAGE Conf., vol. 2, Geneva, 1997.
8. Горбатилов А.В. Возможность оценки параметров геологических объектов на основе использования фонового микросейсмического поля. Результаты экспериментальных исследований и моделирование. Международная сейсмологическая школа, Петергоф, 2006, С. 6—71
9. Gorbatikov A.V., Kalinina A.V., Volkov V.A., Arnoso J., Vieira R., Velez E. Results of Analysis of Data of Microseismic Survey at Lanzarote Island, Canary, Spain, Pure appl. Geophys., 161, 2004. P. 1561—1578
10. Орлов Р.А., Сизак И.А., Надежка Л.И., Сафронович И.Н. Региональные особенности сейсмического шума центральной и восточной части Воронежского кристаллического массива. Методика изучения и первые результаты / Матер. XII Междунар. конфер. Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения, Т. II, 2006, С. 42—48.
11. Shapiro N.M., Campillo M., Stehly L., Ritzwoller N.M.: High-Resolution Surface-Wave Tomography from Ambient Seismic Noise. Science. Vol. 307, 2005.
12. Кузнецов Ю.А., Салтыков В.А., Синицин В.Л., Чебров В.Н. Локация источников сейсмического шума, связанного с проявлением гидротермальной активности, методом эмиссионной томографии. Физ. Земли, 2004, № 2, С. 66—81.
13. Чиков Б.М. Короткопериодные колебания в геологических процессах литосферы (обзор проблемы). Литосфера, 2005, № 2, С. 3—20.
14. Дубянский В.И. О проявлении стационарных волновых процессов в некоторых структурах земной коры. Вестник ВГУ, сер. Геология, № 2, 2005, С. 161—168.
15. Дедов В.П., Омельченко О.К., Тригубович Г.М., Филимонов Б.П. О перспективах разведки методом проходящих микросейсмических волн естественного эндогенного происхождения. Геофизика, № 3, 2006, С. 30—36.