

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СКВАЖИННЫХ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© ¹Николаев А.В., ^{1,2}Жигалин А.Д., ¹Лавров В.С., ¹Беляков А.С., ³Диденкулов И.Н.

¹ИФЗ РАН, ²МГУ, г. Москва,
³ИПФ РАН, г. Нижний Новгород

Наблюдения, проводимые в скважинах, имеют ряд преимуществ перед наземными и аэрокосмическими измерениями, поскольку позволяют «видеть» геологическую среду изнутри и, практически, в первозданном состоянии, существенно расширяют возможности геофизического мониторинга процессов, протекающих на больших глубинах. Использование широкополосной и высокоточной скважинной аппаратуры позволяет решить широкий круг сейсмологических, геофизических и инженерно-геологических задач.

Ключевые слова: скважинные исследования, сейсмоакустическая эмиссия, геоакустика, сейсмология, сейсморазведка, инженерная геофизика

Введение

Наблюдения, проводимые в скважинах, имеют ряд неоспоримых преимуществ перед наземными и аэрокосмическими измерениями, поскольку позволяют «видеть» геологическую среду изнутри и, практически, в первозданном состоянии. Благодаря этому выгодному положению измерительного инструмента, оказалось возможным существенно повысить эффективность геофизического мониторинга процессов, протекающих на больших глубинах, и как решение частной задачи сейсмологии, организовать перманентное наблюдение в зонах подготовки сильных землетрясений. Скважинные геофизические наблюдения меньше подвержены воздействию разнообразных геофизических «шумов» – сейсмических, акустических, деформационных, электрических, магнитных и гравитационных. Измерения, проводимые в скважинах, позволяют выявить тонкие вариации геофизических полей, связанные как с глобальными, так и локальными геодинамическими процессами. Сочетание результатов наблюдений на сети геофизических обсерваторий, оборудованных в скважинах, с данными наблюдений, проводимых на поверхности и в горных выработках, позволяет идентифицировать воздействие отдельных природных и техногенных факторов на состояние земной коры, выявлять эффекты-предвестники, указывающие на подготовку катастрофических природных явлений (землетрясения, подвижки в земной коре, обширные экзогенные геологические процессы и др.), а также количественно оценивать интенсивность произошедших катастроф – взрывов, землетрясений, прорывов плотин, гигантских оползней, осыпей и обвалов

Скважинные исследования в глубоких и сверхглубоких скважинах

Буровые скважины, как правило, проходятся с целью поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, для инженерных изысканий и решения ряда других прикладных задач. Однако в последние десятилетия бурение глубоких скважин все шире используется как метод исследования фундаментальных научных проблем современной геологии. Результаты научного бурения во многом оказались неожиданными для геологов и геофизиков и заставили пересмотреть некоторые теоретические представления, правильность которых до этого не вызывала сомнения. Скважины «научного» бурения на континентах достигают глубины 3 – 7 км (глубокие скважины) и более 7 км (сверхглубокие скважины). Однако такие скважины бурятся редко. Чаще проходка глубоких и сверхглубоких скважин ведётся с целью разведки и поисков, а также эксплуатации месторождений углеводородного сырья. Эти скважины часто проходятся без отбора керна и не могут в полной мере использоваться для научных целей. Задача использования глубоких и сверхглубоких скважин для

сейсмологических целей находится пока в постановочной стадии, но необходимость в таких исследованиях существует [4].

Сверхглубокое бурение дает возможность непосредственно определять возраст формирования геохимических и геофизических характеристик горных пород, слагающих литосферу, изучать эманации, имеющие глубинное происхождение, а также устанавливать геологическую природу физических полей, границ и слоев, температурного режима недр и их теплового излучения. С помощью сверхглубокого бурения можно оценивать перспективы нефте- и газоносности глубоких осадочных бассейнов, вести поиски, разведку и последующую эксплуатацию залежей нефти и газа. Предположительно сверхглубокое бурение можно использовать для изучения структуры очагов землетрясений и происходящих в них процессов с прогнозными целями. Геофизические наблюдения, проводимые в глубоких и сверхглубоких скважинах, значительно расширяют возможности решения ряда специальных задач, иногда далеких от традиционной научной и геологоразведочной ориентации.

Геологическая природа сейсмоакустической эмиссии

Современные представления о процессах, происходящих при подготовке очагов землетрясений и сопровождающих само землетрясение, а также иных геологических проявлений, например, гигантских оползней, селей и др. в значительной своей части основаны на теории разрушения. Согласно этой теории, долговременная прочность материалов на разрушение существенно меньше, чем кратковременная. При этом разрушению горных пород предшествует возникновение и ускоренный рост трещиноватости, сопровождающийся сейсмоакустической эмиссией. В ходе разрушения горных пород происходит объединение отдельных групп (зародышевых очагов) и кластеров трещин в более крупные трещинные образования, вследствие чего наблюдаются усиление интенсивности сейсмоакустической эмиссии и одновременное понижение частоты звуковых колебаний. Из этого следует, что пространственная структура шумовых флуктуаций должна подчиняться требованию синхронности проявления флуктуаций уровня шума в сравнительно больших объемах, которые (флуктуации) увеличиваются вблизи источника. Наблюдаются также заметные флуктуации интенсивности эмиссии за несколько десятков минут или часов до момента возникновения землетрясения или иного катастрофического экзогенного геологического процесса. Таким образом, возникновение сейсмоакустической (фонового звука в сейсмическом и акустическом диапазонах) эмиссии может рассматриваться как надёжный эффект-предвестник, который, однако, не должен быть «зашумлен» микросейсмami и акустическими сигналами техногенного или другого поверхностного происхождения, т. е. экзогенными сейсмоакустическими помехами [1, 3].

Поскольку дистанция затухания сейсмических волн существенно зависит от их частоты, на больших расстояниях от очагов преобладают микросейсмические колебания с частотами от долей герца до сотен герц, что соответствует сейсмоакустическому диапазону. Звуковые колебания в этом диапазоне частот характерны для заключительной стадии разрушения горных пород, когда событие, по сути дела, уже неотвратимо происходит, не оставляя времени на осмысленную реакцию населения, оказавшегося в зоне бедствия.

Наблюдаемые и предполагаемые в качестве предвестников сейсмических и других опасных событий вариации акустической эмиссии связаны с двумя типами эффектов. Первый из них представляет собой нелинейное преобразование сейсмического сигнала в ходе его пространственно-временной эволюции, переходом энергии в область высоких частот. Эффект второго типа связан с возникновением акустической эмиссии вследствие протекания геодеформационного процесса, обусловленного перестройкой поля напряжений в районе пункта наблюдения. Этот процесс сопровождается также приливные изменения силы тяжести, воздействия на земную кору интенсивных штормовых микросейсм (характерные периоды колебаний 4-8 с, частоты 0,25 и 0, 125 Гц, соответственно), т. е. связан с действием локальных иницирующих факторов. Последние могут быть обусловлены как глобальными, так и

региональными, и локальными геодинамическими процессами, сопровождающими заключительную фазу подготовки очагов катастрофических, сильных или умеренно сильных землетрясений с магнитудами 8 и больше, 6 и больше, 5 и больше, соответственно.

Аппаратура для скважинных исследований в широком диапазоне частот

Подобно всем новинкам геофизических разработок как теоретического плана, так и воплощенных в измерительной аппаратуре и специальных методиках, сейсмоакустический (геоакустический) комплекс, предназначенный для работ в скважинах, универсален. Мы в своих исследованиях используем сейсмоакустический магнитоупругий скважинный геофон типа МАГ, созданный в ИФЗ РАН [2]. С этим прибором можно работать не только в скважинах, но и на поверхности, в горных выработках и других условиях для решения практических задач, связанных с изучением сейсмоакустических волновых полей в широком диапазоне частот от долей герца до нескольких килогерц, перекрывая, таким образом, всю «линейку частот» сейсмоакустического диапазона. Сейсмоакустические измерения обеспечивают регистрацию в акустическом диапазоне частот механические колебания, порог амплитуды которых менее 10^{-14} м, на фоне постоянных микросейсмических колебаний с частотами менее 10 Гц, амплитуды которых превышают 10^{-6} м. Геофоны позволяют автоматически не только определять амплитуду слабого подземного звука, но и осуществлять пеленгацию его источника. Это, в свою очередь, открывает возможность оценки анизотропии напряженного состояния пород горного массива в окрестностях точки наблюдения.

Выбор системы регистрации определяется целью измерения. При длительном мониторинге вариаций подземного звука в широкой полосе частот, который проводится, например, для изучения влияния гравитационных сил на напряженное состояние горных пород, может быть использован алгоритм выделения в заданном частотном диапазоне нескольких узких частотных полос и цифровая регистрация средней за некоторый период времени амплитуды сигнала в каждой из выбранных полос. Такой способ регистрации является простым, надежным и экономически обоснованным. При выборе места установки геофона для проведения мониторинга и определении наиболее информативных для этого места частотных полос следует использовать более эффективную систему широкополосной регистрации, например, на основе цифрового амплитудно-частотного анализатора, работающего в режиме реального времени.

Метод и технические средства контроля сейсмической опасности с использованием магнитоупругих геофонов достаточно просты в использовании. На территории, где существует повышенный сейсмический риск, система наблюдений может состоять из одной или нескольких глубоких скважин, в которых устанавливаются трехкомпонентные магнитоупругие геофоны. Каждый геофон соединяется с единым центром контроля с помощью современных цифровых каналов связи, обеспечивающих высококачественную передачу сигналов в полосах от 16 до 2000 Гц. В центре контроля на базе вычислительной техники создается локальная сеть обработки звуковых сигналов, которые могут быть воспроизведены, визуализированы, архивированы на цифровом носителе и переданы в другие сети. Скорость обработки информации в современных компьютерах достаточна для того, чтобы формировать дополнительные виртуальные оси диаграмм направленности, определять и фиксировать преобладающие направления на источники акустических сигналов, а также поддерживать многооконный режим визуализации.

Для выбора критериев сейсмической опасности предлагается рабочая, частично проверенная, гипотеза, основанная на многолетних наблюдениях вариаций геоакустического шума в различных районах Земли. Суть этой простой гипотезы довольно проста и базируется на очевидных предпосылках: во-первых, при всяком действии в твердой земной коре возникает трение, которое сопровождается тепловыми и акустическими излучениями, и, во-вторых, начало механического действия, обычно в той или иной степени, растянуто во времени. Поэтому, всегда есть некоторый период

времени, в течение которого происходит процесс возрастания значений таких параметров механического действия, как движение, скорость движения, ускорение движения, сопровождаемые акустическим шумом. Кроме того, такому значительному действию как землетрясение неизбежно должен предшествовать длительный процесс его подготовки, связанный с изменением механических напряжений в очень больших объемах геологической среды земной коры. И то, и другое не может происходить без трения и потерь в виде тепла и акустического шума. Все это подтверждается геоакустическими исследованиями, выполненными с использованием новых геофонов, и может быть применено в интересах прогноза состояния горных пород в земной коре.

Развитие теоретической базы и аппаратного обеспечение геофизических методов скважинных исследований привели к появлению целого ряда эффективных методов исследований скважин в геологоразведочной отрасли. Появились такие методы как, например, метод радиоволнового просвечивания, сейсмоакустического прозвучивания («просвечивания акустическими волнами») и др. Эти методы хорошо себя зарекомендовали при проведении геологоразведочных работ с целью поиска и разведки месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых и уже стали классикой разведочной и промысловой геофизики. Скважинные методы со временем стали использоваться при разведке и разработке месторождений углеводородов. Сформировался комплекс методов так называемого «стандартного» каротажа, ставший обязательным при разведке углеводородных месторождений.

Ответом на новые появившиеся задачи и новым перспективным направлением в геофизическом приборостроении стала разработка метода, в основу которого было положено явление магнитоупругого преобразования механических напряжений в напряжение электрического тока.

Метод магнитоупругого (магнитоанизотропного) преобразования, сравнительно недавно получивший признание в технике при измерении силы (первое упоминание датировано 1939 годом), оказался весьма перспективным и был использован для решения многих научных и производственных задач, успешно конкурируя с традиционными приборами для измерения силы. Однако долгое время консерватизм конструктивных и схемных решений резко ограничивал применение этого метода только областью измерения больших статических сил при внутренних механических напряжениях в активной части магнитопровода до 10^8 Па.

Последующие исследования показали не только возможность, но и эффективность использования метода магнитоупругого преобразования при механических напряжениях менее 10^{-3} Па, что расширило динамический диапазон преобразуемых механических напряжений до более 220 дБ. Это стало основой развития нового многообещающего направления в силоизмерительном приборостроении и особенно в виброметрии. В частности, на основе магнитоупругого преобразования впервые в мировой практике разработаны, изготовлены и испытаны акустические сенсоры с уникальными возможностями, которые позволяют регистрировать вибросигналы в частотном диапазоне от 1 до 1000 Гц. Геофоны с магнитоупругими акустическими сенсорами могут измерять виброперемещения в твердой, жидкой и смешанной средах с диапазоном измерения, превышающим 260 дБ. Это обеспечивается формой их амплитудно-частотной характеристики, при которой чувствительность сенсора увеличивается в 1000 раз при увеличении частоты в 10 раз. Это позволяет при естественном уменьшении амплитуды сигналов при увеличении частоты измерять смещения в диапазоне 240–260 дБ даже при использовании аналоговых каналов усиления. Необходимость измерений таких малых амплитуд вызвана очень низким значением амплитуд природного фонового акустического шума в частотной полосе от 20 до 2000 Гц в реальной среде земной коры, вариации которого несут новую независимую информацию об изменениях напряженного состояния горных пород на достаточно больших площадях, до 10000 кв. км, и изучение которых может быть использовано с целью оперативного контроля локальной сейсмической и иных видов геологической опасности.

Главными преимуществами магнитоупругого акустического преобразования следует считать резкий подъем амплитудно-частотной характеристики преобразования с ростом частоты, высокую частоту механического резонанса, малый уровень собственных шумов, термостойкость, прочность и стабильность. С другой стороны, главным недостатком магнитоупругого сенсора является его чувствительность к внешнему переменному магнитному полю, от мешающего действия которого, особенно на низких частотах (менее 10 Гц), трудно избавиться. Однако использование двух симметричных измерительных обмоток позволяет существенно уменьшить влияние внешнего магнитного поля.

Практическое использование магнитоупругих геофонов

Сейсмометрические приборы в большом количестве используются для сейсмической разведки полезных ископаемых, в инженерной и гидрогеологической сейсмометрии и археологии. В сейсмической разведке сейсмометры используются, в основном, большими группами, распределенными на поверхности. Условия применения определяют основные требования к полевым сейсмометрам. Это, прежде всего, небольшая масса, надежность работы и невысокая стоимость. В последнее время, в связи с развитием высокоразрешающей сейсмической разведки, выдвигается требование существенного повышения верхней частоты принимаемого сигнала до 500-1000 Гц. Это дает возможность значительно повысить разрешающую способность сейсмической разведки методом отраженных волн, а увеличение чувствительности соответственно увеличивает глубину и детальность изучения геологического разреза. К настоящему времени разработана целая серия сейсмоакустических приборов на базе магнитоупругих преобразователей (магнитоупругие акустические геофоны МАГ), что позволяет их использовать как для скважинных исследований, так и для поверхностной регистрации отраженных волн в частотном диапазоне 1-2000 Гц в интервале изменения амплитуды более 240 дБ [4, 5]. Для сейсмической разведки методом отраженных волн при вертикальном сейсмическом профилировании магнитоупругий преобразователь снабжен инертной массой и закреплен в прочном, герметичном корпусе. При этом амплитудно-частотная характеристика скважинного магнитоупругого геофона обеспечивает возможность приема сейсмических сигналов практически с любой используемой в сейсмической разведке частотой.

Однокомпонентные преобразователи осевой чувствительности могут быть использованы также для создания многокомпонентных геофонов, в которых вектор смещения общей массы может быть разложен на необходимое число составляющих по заданным направлениям. Такие геофоны могут быть использованы в морской сейсмической разведке и в сейсмологических исследованиях, а также при создании остро направленных приемных антенн акустических сигналов в жидких и даже в газовых средах. Магнитоупругий преобразователь позволяет создавать конструкции как с непосредственным контактом чувствительного элемента с контролируемой средой, так и с жестким соединением чувствительных элементов (двух и более) с одной инертной массой. Этим обеспечивается возможность измерения слабых высокочастотных сигналов на фоне медленно изменяющихся статических нагрузок или сильных низкочастотных колебаний. При этом различие амплитуд может превышать 260 дБ. Специфические особенности магнитоупругих преобразователей позволяют создавать надежные буксируемые геофоны для приема сейсмических сигналов в условиях морского шельфа, в которых диаграмма вертикальной направленности формируется гравитационным полем, компенсируя рельеф дна. На основе магнитоупругого преобразователя с непосредственным воздействием на чувствительный элемент могут быть созданы устройства для пассивной и активной локализации шумящих и движущихся объектов в диапазоне частот от 20 до 3000 Гц в жидких и газовых средах.

При использовании сенсоров типа МАГ для регистрации отраженных волн при вертикальном сейсмическом профилировании (ВСП) геофон должен обеспечивать работоспособность в скважинах различного диаметра, при высоких давлениях (более 1000 МПа) и температурах, достигающих 200° С (глубина более 10 км). Разработанные

скважинные геофоны могут обеспечить решение всех задач высокоразрешающей сейсмической разведки, в том числе и скважинной. В настоящее время используются методы и аппаратура для трехмерного ВСП. Реализация трехмерных измерений вектора смещения при помощи однокомпонентных магнитоупругих сенсоров в скважинном варианте геофона не имеет принципиальных ограничений. Однако доступные в настоящее время материалы и технологии, используемые при изготовлении скважинных геофонов, обеспечивают требуемые параметры преобразования только при сравнительно большой инертной массе и, соответственно, размерах магнитопровода. В связи с этим разработка трехкомпонентного геофона с магнитоупругим преобразователем для скважинного применения, в котором используется общая инертная масса, была выполнена при допущении некоторого различия характеристик вертикального и горизонтальных каналов.

Кроме трехмерных измерений в сейсмической разведке используют многоточечные скважинные измерения, для которых могут быть применены как вертикальные однокомпонентные магнитоупругие геофоны с рабочим диапазоном частот до 2000 Гц, так и трехкомпонентные геофоны. Потребительские свойства магнитоупругих скважинных геофонов позволяют использовать их не только для решения разведочных, инженерных и археологических задач, но и для решения фундаментальных задач сейсмологии в области контроля напряженного состояния среды с целью прогнозирования его изменения. Как было отмечено выше, реальный частотный диапазон измерения сигналов в методе магнитоупругого преобразования ограничен снизу частотой примерно 1 Гц. В этой связи магнитоупругие геофоны не могут претендовать на решение всех задач классической сейсмологии, однако, некоторые актуальные прикладные задачи, которые не по силам классической сейсмологии, могут быть решены весьма эффективно при использовании магнитоупругих сейсмометров. Это касается, например, контроля подземного фонового звука, несущего новую, независимую и полезную информацию о внутренних процессах в недрах Земли, которая, помимо всего, может служить надежным оперативным предвестником землетрясений. Кроме того, широкий диапазон линейного преобразования магнитоупругого сенсора при необходимости дает возможность использовать достаточно большую инертную массу, что может быть эффективным, например, в таких уникальных экспериментах, как обнаружение динамической гравитации и др.

Для работы в сейсмическом диапазоне частот (до 600 Гц) разработана специальная конструкция магнитоупругого преобразователя, которая предусматривает возможность трехмерных измерений. Были изготовлены опытные образцы поверхностного и донного сейсмометров, позволяющих измерять три составляющие вектора исходного смещения. Изменяя величину инертной массы и расстояние до плоскости приложения силы к преобразователям, а также соотношение конструктивных размеров можно устанавливать необходимые характеристики преобразования: чувствительность и частоту механического резонанса отдельно для вертикальной и горизонтальных составляющих. Существенно упростить конструкцию и улучшить параметры вертикального преобразования на высокой частоте можно, если использовать дифференциальное преобразование при создании одноименных механических напряжений растяжения в двух расположенных параллельно преобразователях простейшей формы с осевой нагрузкой. Каждый из многих вариантов «доработки» магнитоупругих сенсоров открывает возможности решения новых задач, многие из которых только намечаются в перспективе.

Широкополосные сигналы, получаемые на выходе согласующих усилителей регистрирующей аппаратуры, могут быть использованы для обработки в различных амплитудно-частотных анализаторах и других устройствах, а также для непосредственного прослушивания при помощи специальной аудио аппаратуры. Получаемые сигналы постоянного тока преобразуются в цифровую форму 12-разрядным аналого-цифровым многоканальным преобразователем и регистрируются с помощью

ПЭВМ по специальным программам, разработанным для непрерывного и длительного проведения наблюдений, что необходимо при осуществлении мониторинга процесса. Преобразованные в цифровую форму сигналы обрабатываются ПЭВМ в реальном масштабе времени. Указанная процедура предварительной аналоговой и цифровой обработки информации непосредственно на измерительном пункте позволяет резко сократить объем регистрируемых или передаваемых по каналам телеметрии данных.

Возможной альтернативой традиционному в наши дни регистрирующему комплексу на базе ПЭВМ может быть специализированный микропроцессорный контроллер, учитывающий требования, связанные с минимизацией потребляемой мощности, расширением диапазона рабочих температур, повышением точности аналого-цифрового преобразования и возможности реализации достаточно сложных программ предварительной обработки геоакустических сигналов в реальном масштабе времени. Кроме этого, предусматриваются два возможных режима работы контроллера: режим автономной регистрации данных с последующим считыванием (режим академических исследований) и режим телеметрии с передачей данных в центр сбора информации по радио- или проводному каналу связи (например, режим мониторинга с целью прогноза землетрясений или иных долго протекающих геологических процессов, а также специального контроля). Для ввода контроллера в режим измерений используется портативный компьютер Notebook, для которого разработано специальное программное обеспечение. В случае использования контроллера в варианте автономной регистрации, компьютер позволяет также и считывать данные, не прерывая регистрацию.

Заключение

Предложенное вниманию участников конференции устройство со всей периферией представляет собой перспективный измерительный комплекс, позволяющий проводить кратковременные и длительные наблюдения сейсмоакустических шумов различного генезиса и осуществлять предварительную (первичную) обработку результатов наблюдений. В устройстве реализуются все преимущества скважинных геофизических измерений – нахождение чувствительного элемента (датчика) непосредственно внутри изучаемого геологического массива, возможность «ухода» от техногенных помех, характерных для измерений на поверхности или на небольших глубинах, высокая вероятность прослушивания (детектирование) геоакустических сигналов на значительных расстояниях от наблюдательной скважины.

Снаряд-зонд позволяет создавать различные модификации представленной базовой модели, которые могут быть использованы в скважинах меньшего диаметра, в закопашках, горных выработках или на поверхности с установкой их на традиционных для сейсмологических исследований постаментов.

Благодаря высокой чувствительности и расширенному частотному диапазону (уверенное детектирование полезного сигнала от 5-10 Гц до частоты 2-5 кГц), измерительный комплекс может использоваться для решения задач сейсмологии, сейсмозондировки больших и малых глубин (изучение зоны малых скоростей), инженерной и других видов прикладной сейсмометрии, включая грунтоведение и археологию. Возможно также, используя измерительный комплекс в схемах общего и специального видов мониторинга, осуществлять контроль (дистанционный как в плане расстояния, так и времени) изменений геоэкологической обстановки на разных масштабных уровнях от объектного до регионального.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, Грант 16-05-00-276

Литература

1. Беляков А.С., Кузнецов В.В., Николаев А.В. Акустическая эмиссия в верхней части земной коры // Изв. АН СССР. Физика Земли, 1991. № 10. С. 79-84.
2. Беляков А.С., Николаев А.В. Сейсмоакустические приемники с магнитоупругим преобразованием // Физика Земли. 1993, № 7. С. 74-80.

3. *Надежка Л.И., Орлов Р.А., Пивоваров С.П.* О связи параметров сейсмического шума с геологическими и геодинамическими особенностями Воронежского кристаллического массива // *Вестн. Воронеж. ун-та. Геология*, 2003 № 2. С.179-185.
4. Новые результаты мониторинга акустических шумов в Кольской сверхглубокой скважине / *А.С. Беляков, Д.М. Губерман., А.Д. Жигалин и др.* // Доклады Академии наук, 2007. Том 412. № 2. С. 1-4
5. Сейсмоакустический мониторинг в Воротиловской глубокой скважине: методика и результаты. / *А.С. Беляков, И.Н. Диденкулов, А.Д. Жигалин и др.* // *Геология и геофизика Юга России*, 2017. № 3. С. 5-12