

УДК 502.131 (622.143; 553.98)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАССИВНЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ – ПУТЬ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Абатуров М.А., Сиротинский Ю.В., Цивадзе А.Ю.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фrumкина
Российской академии наук (ИФХЭ РАН),
Россия, 119071, г.Москва, Ленинский пр-т, д.31, корп.4
abaturov@yandex.ru*

Ключевые слова: сейсморастведка; микросейсмический фон; нефтегазовые месторождения.

Аннотация

Рассмотрена возможность решения экологических проблем традиционной сейсмологии и сейсморастведки благодаря использованию пассивных сейсмоакустических методов. Сформулированы необходимые задачи аппаратного обеспечения для измерения слабого микросейсмического фона и задачи статистической обработки шумового случайного сигнала. Даны примеры решения этих задач при поисково-разведочных работах залежей углеводородов. Предлагаемый подход может быть эффективным решением частной проблемы экологии как составная часть общей концепции Устойчивого развития горных территорий.

UDK 502.131 (622.143; 553.98)

USE OF PASSIVE SEISMOACOUSTIC METHODS - WAY TO SOLVE ECOLOGICAL PROBLEMS OF SEISMIC EXPLORATION

Abaturov M.A. ✉, Sirotinskiy Yu.V, Tsivadze A.Yu.

*A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry,
Russian Academy of Sciences(IPCE RAS),
Leninsky prosp. 31, Moscow, 119071 Russia
✉abaturov@yandex.ru*

Key words: seismic exploration; microseismic background; oil and gas deposit

Annotation

The possibility of solving the environmental problems of traditional seismology and seismic exploration through the use of passive seismic acoustic methods was considered. The necessary hardware tasks for measuring a weak microseismic background and the statistical processing of a random noise signal were solved. Examples of solving these problems during the exploration of hydrocarbon deposits are given. The proposed approach can be an effective solution to a particular problem of ecology as an integral part of the general concept of Sustainable development of mountain territories.

1. Введение

Эффективное природопользование и соблюдение норм экологии являются неразрывными звеньями одной цепи, определяющими стабильность развития общества. При этом важную роль играет рациональное освоение, поиск и разведка природных ресурсов.

Поисково-разведочные работы обычно основаны на методах сейсморазведки. К сожалению, применение традиционных методов сопряжено с серьезным негативным влиянием на окружающую среду. В сейсморазведочных работах используются различные мощные средства воздействия на геологические структуры для их зондирования. Это, прежде всего взрывные методы и методы с генерацией механических вибраций, создаваемых специальными гидравлическими механизмами.

Кроме того, результаты сейсморазведки сами по себе недостаточно информативны, на их основе нельзя предсказать и идентифицировать нефтегазоносность предполагаемых геологических структур, их водонасыщенность и наличие прочих полезных природных ресурсов. Необходимую информацию для оценки промыслового значения территории приходится восполнять с помощью дополнительных разведочных скважин, бурение которых бывает не всегда оправдано. Это также оказывает негативное влияние на окружающую среду.

В настоящее время вопросам экологии уделяется особое внимание в связи с международной концепцией ООН по устойчивому развитию общества. На ближайший период 2016-2030 гг. были сформулированы семнадцать ключевых целей программы развития [1]. В соответствии с этой программой проблема экологии сейсморазведки становится весьма актуальной и также требует решения.

Одним из возможных путей решения указанной проблемы является отказ от использования в сейсморазведке активных методов и переход к пассивным методам, источником информации в которых служит природный микросейсмический фон. Пассивные методы являются достаточно перспективными, но возможности их реализации ограничены рядом проблем, преодоление которых до недавнего времени встречало определенные трудности. Во-первых, регистрация фоновых сигналов предъявляет повышенные требования к чувствительности измерительной техники. Кроме того, шумовой фон имеет случайный непредсказуемый характер и извлечение из него полезной информации возможно только при использовании сложных алгоритмов статистической обработки для больших массивов данных. В настоящее время цифровая электроника и вычислительная техника делают реальным преодоление указанных трудностей и пассивные методы начинают интенсивно развиваться.

Целью настоящей работы является рассмотрение экологических проблем сейсморазведки и возможностей их решения с помощью пассивных методов ведения работ. Для достижения указанной цели необходимо решить ряд конкретных задач. Это, прежде всего задача анализа различных подходов при реализации пассивных сейсмоакустических методов в зависимости от объекта исследований. Далее - задача разработки и создания соответствующей сейсмоакустической аппаратуры для конкретного объекта. Задача завершающего этапа заключается в опробовании метода и подтверждении его эффективности при проведении реального исследования.

2. Пассивные сейсмоакустические методы

Пассивные сейсмоакустические методы начинают привлекать внимание исследователей в различных областях геофизики. Наибольшие результаты были достигнуты в области фундаментальных исследований. Прежде всего, следует отметить такое обширное направление как микросейсмическая эмиссионная и трансмиссионная томография [2]. Эти методы позволяют исследовать труднодоступные для других методов крупные геологические структуры, проявляющие естественную активность внутренней среды (вулканическая, геотермальная, тектоническая активность). Локальные структурные неоднородности также могут выявляться в виде искажений на пути распространения естественного микросейсмического поля [3]. Искажения могут быть амплитудно-частотными, спектрально-нелинейными, фазовыми, могут носить релаксационный характер и пр. [2-3].

Необходимо также отметить исследования по микросейсмическому зондированию [4]. Фактически этот метод также основан на пассивной регистрации естественного

микросейсмического фона. С помощью этого метода были проведены геологические изыскания обширных территорий, в том числе и на территории Кавказа [5].

Особое место занимают исследования малоизученных и необычных явлений, например, на о. Валаам [6] или на Кольской сверхглубокой скважине [7].

Применение пассивных сейсмоакустических методов не ограничивается вышеперечисленными фундаментальными исследованиями. Интерес к этим методам начинают проявлять и в конкретных прикладных областях, в области инженерной геологии [8, 9], в горнодобывающей деятельности, в нефтегазовом промысле [10, 11], в поисковых работах на воду [12] и др.

С точки зрения концепции устойчивого развития среди рассмотренных областей применения пассивных методов наибольшее значение имеют работы связанные с развитием экономики. В основе всей экономики конечно лежат энергетические ресурсы, запасы углеводородов. В регионе Северного Кавказа имеются достаточно обширные месторождения нефти и газа [13] и проблема экологии при их разведке весьма актуальна. Поэтому, в плане концепции Устойчивого развития будет наиболее целесообразным рассмотреть возможности метода пассивной разведки именно по отношению к месторождениям углеводородов.

3. Аппаратура

Реализация любого пассивного сейсмоакустического метода независимо от целей исследования, основана, прежде всего, на измерении микросейсмического фона исследуемой территории. Интенсивность природного фона обычно достаточно мала и находится в пределах границ NLNM-NHNM классической модели Петерсона. Для измерения слабых сейсмических сигналов необходима специальная прецизионная аппаратура.

Такие сейсмометры выпускают ведущие мировые компания Nanometrics Incorporated, Güralp Systems Limited и ряд других фирм. Это оборудование характеризуется широким набором параметров и для проведения конкретных сейсмоакустических исследований эти возможности бывают избыточны, что усложняет использование таких приборов в экспедиционных условиях.

В ряде случаев целесообразно использовать авторские разработки сейсмометров, предназначенных для конкретных задач. Так, например, в работе [14] дано описание опытной разработки ИФЗ РАН портативного сейсмометра для экспедиционных работ. Также представляет определенный интерес оригинальная разработка сейсмодатчика на кварцевом резонаторе [15] и др.

В настоящей работе предлагается доступный вариант аппаратного решения реализации сейсмоакустического метода предназначенного для выполнения поисково-разведочных работ на нефть и газ. Рассмотрим подробнее предлагаемое решение.

Необходимый частотный диапазон для обнаружения залежей углеводородов ограничивается областью 1-45 Гц, что не требует применения специальных длиннопериодных сенсоров. Для таких целей можно использовать, например, геофон ZF-4.5 фирмы Zhaofeng Sensor Equipment Co., Ltd. или его аналоги с близкими характеристиками.

Разработка электронного блока благодаря возможностям современной микропроцессорной техники также не вызывает каких-либо затруднений. Блок представляет собой 24 битный АЦП типа AD7734 фирмы Analog Device. Частота оцифровки около 100 Гц. Система управления собрана на популярном микропроцессоре AT89C51ED2 фирмы ATMEL и может быть запрограммирована для длительной автономной работы всей системы в необходимом режиме.

Дополнительно сборка может включать в себя узел памяти на сменных картах формата MMC/SD. В сборке также имеется GPS узел, осуществляющий привязку к местности и синхронизацию внутренних часов модуля к единой временной шкале. Точная синхронизация необходима при работе сейсмомодуля в составе группы.

Связь с компьютером осуществляется по интерфейсу RS-485 (длина линии связи до 1300 м., с возможностью включения до 250 модулей в линию). Возможна комплектация модуля интерфейсами RS-232 (Com порт), USB, LAN (локальная сеть), WiFi. В целом сборка имеет

размеры 100x85x35 мм. Внешний вид сборки показан на рис. 1 (рисунок предоставлен Языковым В.П.). Видно, что исполнение электронного блока достаточно компактное и может быть использовано для создания портативного сейсмометра.

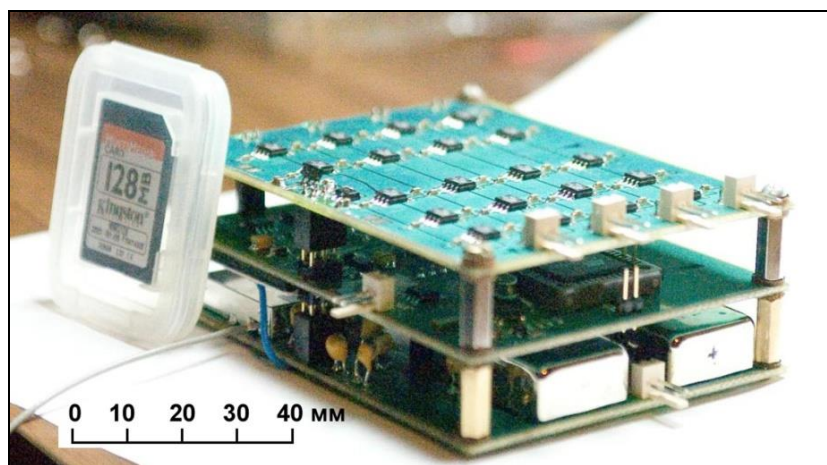


Рис. 1. Сборка электронного узла сейсмомодуля

Все составляющие компоненты и узлы сейсмомодуля, включая источник питания в виде аккумуляторной батареи, можно скомпоновать внутри пустого герметичного контейнера от серийного отечественного сейсмометра СМ-3КВ. Причем, небольшие размеры используемых геофонов позволяют в одном модуле смонтировать сразу три сенсора по трем пространственным координатам. 3-D измерения предоставляют дополнительную возможность для более глубокого анализа результатов измерений по методике Накамуры.

Собранный таким образом сейсмомодуль весит около 5 кг, отличается мобильностью (рис. 2) и может быть оперативно установлен непосредственно в грунт в неглубокий шурф без постаментов. При этом для корректной регистрации векторного сейсмического поля в точке постановки необходимо тщательно соблюдать правильную пространственную 3-D ориентацию корпуса сейсмомодуля.

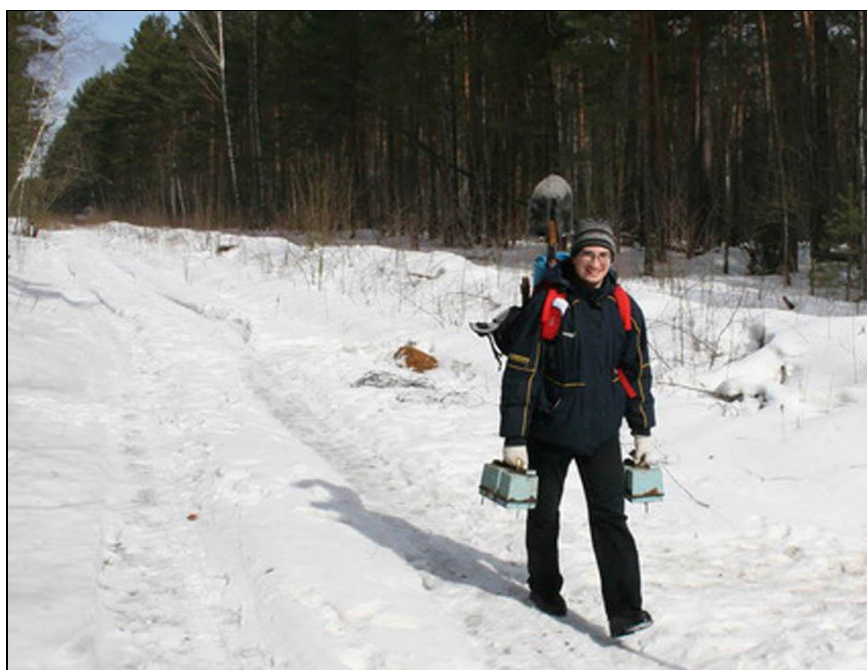


Рис. 2 Транспортировка сейсмомодулей в труднодоступные территории

Сейсмомодуль перед тем, как его использовать для исследования конкретных геофизических объектов был прокалиброван на эталонном вибростенде. Также были проведены испытания сейсмомодуля в реальной обстановке на удаленной от техногенных источников территории (северная коррозионная станция ИФХЭ РАН на Кольском полуострове). Испытания показали достаточно хорошие эксплуатационно-технические характеристики данной разработки. Так, например, в диапазоне 1-10 Гц регистрируемый фон приближался к нижней границе NLNM, что позволяет использовать сейсмомодуль для пассивных сейсмоакустических работ.

4. Результаты и анализ.

Опыт практического применения сейсмоакустических методов для поисково-разведочных работ на нефть и газ показал их достаточную эффективность. В качестве примера на рис.3 приведены результаты реальных работ на конкретной территории в Оренбуржье.

На рисунке представлен план местности, на котором обозначены области с характерной для формирования залежей структурой. На этом же рисунке представлены результаты исследования данной местности пассивным сейсмоакустическим методом. В качестве иллюстрации показаны спектральные характеристики микросейсмиков для типичных точек данной местности. Характерные для залежей максимумы спектра в области 3-4 Гц позволили надежно идентифицировать наличие либо отсутствие нефтегазоносности предполагаемых структур.

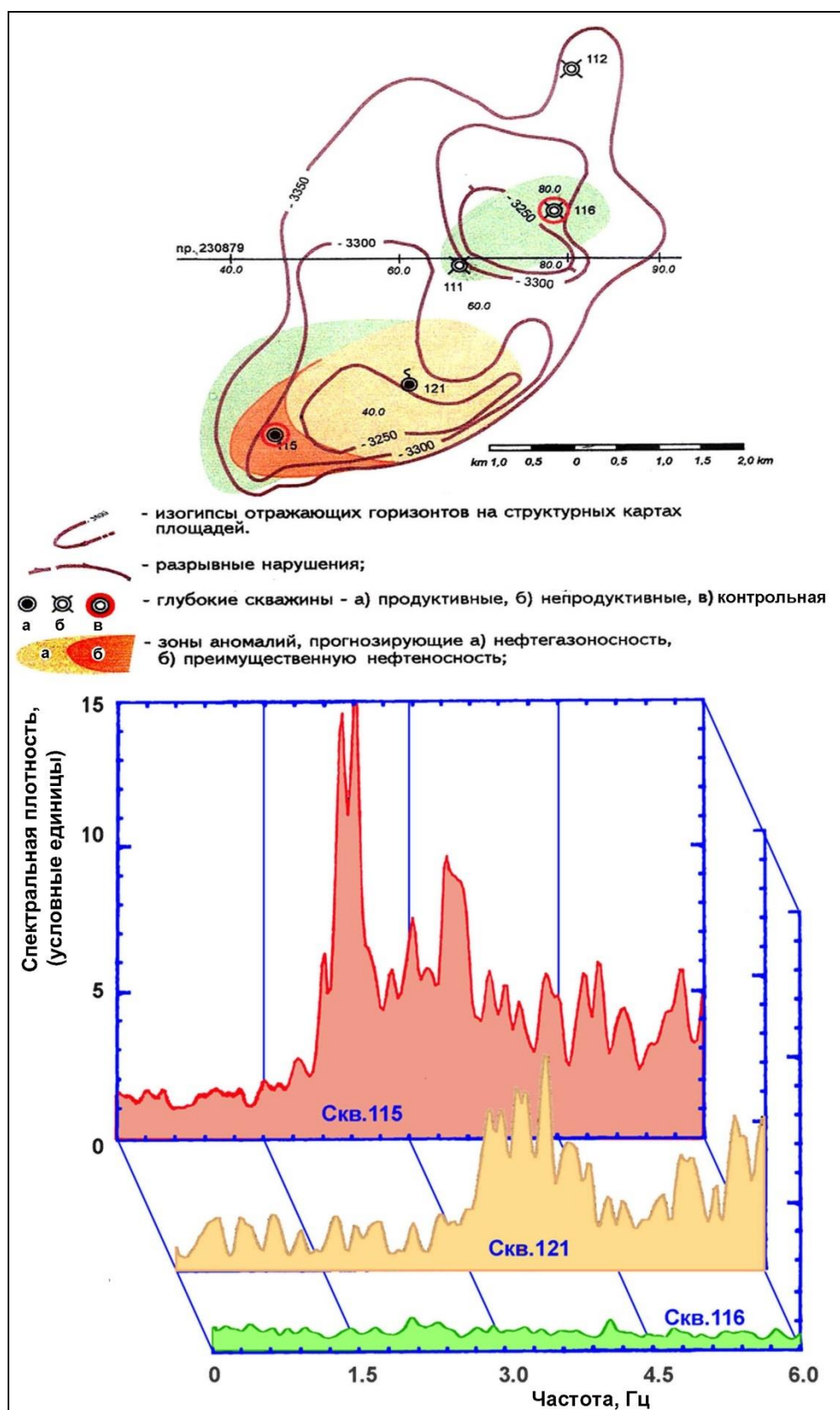


Рис. 3 Практическое применение сейсмоакустических методов для разведки углеводородных залежей

Как показывает достаточно богатый опыт практического использования, метод позволяет значительно повысить достоверность прогноза с обычного для большинства случаев уровня 30-50% до уровня 80-85% и выше [16].

5. Выводы

Пассивные сейсмоакустические методы позволяют существенно снизить экологические издержки геологоразведочных работ и повысить достоверность прогноза. Применение методов не оказывает никакого вредного воздействия на природу.

Для реализации метода можно использовать сейсмометрическую аппаратуру ведущих фирм, а также использовать собственные авторские разработки с учетом конкретной специфики решаемых задач. Представленная в данной работе авторская аппаратура отличается портативностью, устанавливается непосредственно в грунт и может использоваться на труднодоступных территориях для продолжительной работы в автономном режиме.

Рассмотренное частное решение экологических проблем сейсморазведки может служить важным этапом решения общей проблемы Устойчивого развития горных территорий.

6. Благодарности

Работа выполнена в соответствии с планом работ института ИФХЭ РАН на 2019-2020 гг. Авторы также выражают благодарность Владимиру Петровичу Языкову за разработку электронной микропроцессорной системы сейсмомодуля.

Литература

1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015
United Nations A/RES/70/1 General Assembly Distr.: General 21 October 2015. Интернет ресурс: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E (дата доступа 06.10.2019)
2. Шубик Б.М. Эмиссионно-томографические подходы в сейсмических исследованиях // Экспозиция Нефть Газ. 2016, Т.49, №3, с. 22-24.
3. Чеботарева И.Я. Многообразие типов эндогенных сейсмических источников в эмиссионной томографии // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 2(25). DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2019-25.art8
4. Горбатилов А.В., Николаев А.В., Степанова М.Ю., Алешин А.П. Метод микросейсмического зондирования- новая эффективная технология для научных исследований, задач поиска и разведки полезных ископаемых. Материалы конференции «Гальперинские чтения». Москва, 2011, DOI: 10.3997/2214-4609.20144285
5. Горбатилов А.В., Рогожин Е.А., Степанова М. Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Передерин Ф.В., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзедоев Б.А., Габараев А.Ф. Особенности глубинного строения и современной тектоники Большого Кавказа в осетинском секторе по комплексу геофизических данных // Физика Земли, 2015, № 1, с. 28–39.
6. Беляков А.С., Лавров В.С. Исследование акустического шума на острове Валаам. // Доклады Академии наук, 2017, том 472, № 5, с. 576–579. DOI: 10.7868/S0869565217050140
7. Беляков А.С., Губерман Д.М., Жигалин А.Д., Лавров В.С., Любушин А.А., Мухамедов В.В., Николаев А.В., Яковлев Ю.Н. // Новые результаты мониторинга акустических шумов в Кольской сверхглубокой скважине.// Доклады Академии наук. 2007, т.412, №2, с. 253-256.
8. Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Камшилин А.Н. Специфика применения метода микросейсмического зондирования в инженерных задачах. // Вопросы инженерной сейсмологии. Изд.: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (Москва). 2008. Т. 35, № 2, с. 25-30
9. Зуйков И.В., Бединов В.В. Применения метода Резонансно-Акустического Профилирования (РАП) при проведении инженерно-геологических изысканий для строительства жилых

зданий // Conference: Engineering Geophysics 2013, April 2013, DOI: 10.3997/2214-4609.20142527

10. *N. Martakis, G-A. Tselentis and P. Paraskevopoulos.*, 2010: High Resolution Passive Seismic Tomography- a NEW exploration tool for Hydrocarbon investigation, recent results from a successful case history in Albania. 5th GEOINDIA Conference, New Delhi, India, Nov.
11. *Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Штык А.В.* Инновационные сейсмоакустические технологии для разведки и разработки месторождений // Бурение и нефть. 2010. №2. С.3-5
12. *Зуйков И.В., Mark Burr, Погорелов Ю.С.* Применение комплекса геолого-геофизических методов для поиска воды в засушливых районах Южной Африки (о. Мадагаскар). Обследование мааровых структур. Conference: Engineering and Mining Geophysics 2018, April 2018, DOI: 10.3997/2214-4609.201800489
13. *Лебедько А.Г., Кулындышева Н.В.* Ресурсы нефти и газа Северо-Кавказской нефтегазоносной провинции // Экономический вестник Ростовского государственного университета . 2007, Т.5, №3. Часть 3, с 144-148.
14. *Башилов И.П., Волосов С.Г., Зубко Ю.Н., Королев С.А.* Портативный цифровой сейсмометр. // Сейсмические приборы. М., ИФЗ, 2010. №2. с.47-60
15. *Заалишвили В.Б., Козырев Е.Н., Симакин А.Г., Цориев Д.К.* Сейсмоприемник на основе цилиндрического объемного резонатора с волной типа Н01. // Микро-и нанотехнологии в электронике. Материалы VII Международной научно-технической конференции. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т. 2014
16. *Шарапов И.Р., Шабалин Н.Я., Биряльцев Е.В., Феофилов С.А., Рыжов В.А.* Инновационные пассивные микросейсмические методы в нефтегазовой отрасли - опыт применения в России // Материалы международной научной геологической конференции "АТЫРАУГЕО -2015". Казахстан, Атырау, 2015