



Оригинальная статья / Original article
УДК 502.131 (622.143; 553.98)
DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-202-210

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВЫХ ПОЛЕЙ В ПОИСКОВО- РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ В НЕФТЕГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Аслан Ю. Цивадзе, Юрий В. Сиротинский, Михаил А. Абатуров*
Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина
Российской академии наук, Москва, Россия, abatur@yandex.ru

Резюме. Цель. В статье рассматривается возможность снижения экологических издержек и рисков при проведении поисково-разведочных работ в нефтегазовом промысле. Для достижения этой цели предлагается сократить число выполняемых разведочных бурений за счет неоправданных «сухих» скважин. Такая задача может быть решена с помощью инновационных сейсмоакустических методов прямой разведки залежей. **Методы.** В работе предлагается применить метод детектирования микросейсмических шумовых полей (ДШП-метод) для обнаружения скрытых залежей углеводородов. При реализации алгоритмов ДШП-метода была использована спектроскопия Чебышева и анализ шумового процесса на соответствие свойству гауссовости. **Результаты.** Была представлена аппаратная реализация ДШП-метода в виде измерительного комплекса. Основным элементом комплекса является автономный микропроцессорный 3D-сейсмомодуль. Сейсмомодуль может регистрировать сигналы в частотном диапазоне 0,5-40 Гц с уровнем спектральной плотности собственных шумов не выше $0,5 \text{ нм} \times \text{Гц}^{-1/2}$. Сейсмомодуль компактен, мобилен, имеет как наземное, так и морское исполнение. **Выводы.** Использование ДШП-метода в поисково-разведочных работах позволит выявить и исключить из бурения заведомо «сухие» скважины и сократить общее число скважин более чем в два раза. Для региона Каспия этот показатель должен быть еще выше. В результате метод обеспечит существенное снижение экологических последствий нефтегазового промысла в целом.

Ключевые слова: экология Каспия, нефтегазовый комплекс, разведочное бурение, эмиссия микросейсмиков, сейсмоакустические методы разведки.

Формат цитирования: Цивадзе А.Ю., Сиротинский Ю.В., Абатуров М.А. Использование метода детектирования микросейсмических шумовых полей в поисково-разведочных работах в нефтегазовом комплексе для снижения экологических последствий // Юг России: экология, развитие. 2019. Т.14, N2. С.202-210. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-202-210

APPLICATION OF MICROSEISMIC NOISE ESTIMATION IN OIL AND GAS EXPLORATION AIMED AT REDUCING ENVIRONMENTAL IMPACT

Aslan Yu. Tsivadze, Yuriy V. Sirotinskiy, Mikhail A. Abaturov*
Institute of Physical chemistry and Electrochemistry A.N. Frumkin
Russian academy of sciences, Moscow, Russia, abatur@yandex.ru



Abstract. Aim. This article discusses the possibility of reducing ecological costs and risks during exploration of oil and gas fields. To this end, we propose to reduce the number of exploratory drilling works performed using unjustified non-productive wells. Such a problem can be solved with the help of innovative seismic-acoustic methods of direct deposit exploration. **Methods.** The method of microseismic noise estimation (MNE) in application to hidden hydrocarbon deposits is proposed. When implementing the MNE algorithms, Chebyshev spectroscopy and analysis of the noise in terms of Gaussian distribution were used. **Results.** The hardware implementation of the MNE method is presented. The key component of the hardware complex is presented by an autonomous microprocessor 3D seismic module. The seismic module registers signals across the frequency range of 0.5-40 Hz with a level of spectral density of self-noise not higher than $0.5 \text{ nm} \times \text{Hz}^{-1/2}$. Presented both in land and sea design, the module is compact and mobile. **Conclusion.** The application of the MNE method in prospecting and exploration allows identification and exclusion of obviously non-productive wells from drilling, as well as reduction of the total number of wells more than by twofold. For the Caspian region, this indicator is expected to be higher. As a result, the method will provide a significant reduction in the environmental consequences of the oil and gas industry as a whole.

Keywords: Caspian ecology, oil and gas complex, exploratory drilling, microseismic emission, seismic-acoustic exploration methods.

For citation: Tsivadze A.Yu., Sirotinskiy Yu.V., Abaturov M.A. Application of microseismic noise estimation in oil and gas exploration aimed at reducing environmental impact. *South of Russia: ecology, development*. 2019, vol. 14, no. 2, pp. 202-210. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-202-210

ВВЕДЕНИЕ

Топливо-энергетический промысел играет ключевую роль в обеспечении устойчивого экономического развития региона Каспия [1]. Вопросы развития этих территорий в настоящее время получили новый импульс в связи с принятой 12 августа 2018 г. международной конвенции о правовом статусе Каспийского моря [2].

К сожалению, любая промысловая деятельность, и, в первую очередь, нефтегазовая, неизбежно сопряжена с негативным влиянием на окружающую природную среду. Очевидный и наиболее серьезный ущерб наносят аварийные разливы нефти. Такие ситуации возникают на этапе добычи и транспортировки нефти. Но, в тоже время, необходимо учитывать, что и все остальные сферы нефтегазового промысла, в определенной мере, оказывают негативное влияние на экологию [3]. При этом особое внимание следует обратить на этапы поиска и разведки залежей углеводородов.

Проблемы экологии при поисково-разведочных работах. Поисково-разведочные работы представляют собой целый комплекс последовательно проводимых мероприятий, которые можно разделить на два этапа [4]. На первом, предварительном этапе выполняются сейсморазведочные работы, на втором, заключительном этапе – буровые работы. Каждый из этих этапов сопряжен со специфическими достаточно серьезными экологическими последствиями. Рассмотрим их подробнее.

Сейсморазведка. В сейсморазведке до недавнего времени широко применялись взрывные методы необходимые для возбуждения зондирующих волн. Очевидно, что эти методы губительны для живой природы, особенно для морской среды. Такие работы зачастую приводили к массовой катастрофической гибели целых косяков рыб [3]. Сейчас в сейсморазведке стараются использовать более щадящие невзрывные методы с применением специальных пневмопушек и вибраторов, но исключить полностью негативное воздействие на природу не удастся.



Ситуация усугубляется тем, что сейсморазведочные работы обычно проводят на обширных территориях для получения исчерпывающей геологической информации для всего региона в целом. После выполнения исследований на региональном уровне проводят ещё целый ряд исследований уже не столь масштабных, но оказывающих достаточно интенсивную нагрузку на экологию. Это такие сейсморазведочные работы, как поисковые и детализационные; разведка месторождений; доразведка, геотехнические исследования и пр.

Работы охватывают обширные территории и имеют достаточно плотное покрытие, что в целом приводит к серьезным экологическим издержкам уже на начальном этапе (сейсморазведка).

После проведения всех необходимых сейсморазведочных работ выполняют геологическое картирование региона, строят его геологическую модель, проводят стратификационный анализ. На основании полученного материала выделяются территории со структурами, характерными для залежей углеводородов. Вопрос о реальной нефтегазонасности этих структур решается на следующем этапе.

Разведочное бурение. Следующий этап поисково-разведочных работ связан с буровыми работами. На выделенных по результатам сейсморазведки территориях выполняется поисково-разведочное бурение. Из общего числа прогнозируемых структур должны выделить такие скважины, которые действительно обладают нефтегазонасностью. Этап бурения поисково-разведочных скважин сопровождается не меньшими экологическими издержками и рисками, чем бурение эксплуатационных скважин [5]. Сейчас многие нефтегазодобывающие компании придерживаются концепции «нулевого сброса» технологических отходов бурения [6], что должно сократить экологические последствия. Но, в реальности, этот принцип не всегда выполняется. Кроме того всегда остаются риски аварийных сбросов.

Также необходимо учитывать, что поисково-разведочное бурение, хотя и проводится в определенных локальных точках, но в целом охватывает обширные территории. При этом, работы представляют собой целый комплекс самостоятельных мероприятий таких как поисковое бурение, разведочное, оценочное, параметрическое, бурение для оконтуривания залежей и прочее.

Актуальность проблемы экологии при поисково-разведочных работах. Из приведенного рассмотрения видно, что экологические последствия от поисково-разведочных работ территориально выходят далеко за пределы реальных залежей и охватывают весь исследуемый регион, что создает серьезные экологические проблемы в целом. Для региона Каспия эта проблема приобретает особую значимость в связи с недавно принятым межгосударственным соглашением о разграничении пользования шельфовой нефтегазонасной акваторией Каспия [2]. Сдерживающие факторы правовой неопределенности ранее спорных территорий теперь сняты и это будет способствовать активизации по освоению природных ресурсов региона. В такой ситуации вопрос о снижении экологических издержек поисково-разведочных работ на нефть и газ становится исключительно актуальным.

Цель работы. В данной работе рассматриваются возможности снижения масштабов вредного влияния на природу от поисково-разведочных работ и ограничение территорий, подвергающихся этому воздействию. При выборе способов решения проблемы необходимо учесть, тот факт, что на практике доля непродуктивных, «сухих» скважин неоправданно высока и превышает половину от всех пробуренных. Существенно снизить экологические издержки можно, если заранее предвидеть безрезультативность «сухих» скважин и не проводить излишнее бурение.

Существующие проблемы с «сухими» скважинами обусловлены тем, что сейсморазведка принципиально не может дать однозначную информацию о наличии углеводородов в предполагаемом коллекторно-структурном геологическом образовании. Даже



детализационная 3D-сейсморазведка, давая подробную информацию о геологической структуре, не может идентифицировать флюидную насыщенность этих слоев. Предполагаемая структура может быть как нефтегазоносной, так и нет.

Окончательное заключение можно сделать только после проведения буровых работ. Результат бурения заранее не предсказуем. Как показывает статистика, коэффициент успешности в среднем равен 0,5, т.е. каждая вторая скважина оказывается «сухой» [7]. В неблагоприятных сейсмогеологических условиях коэффициент успешности существенно падает. Так, например, в Прикаспийской синеклизе с солевой тектоникой успешность бурения за последние 10 лет оказалась меньше чем 0,25 [7]. В таких ситуациях работы по бурению приходится повторять многократно для достижения искомой продуктивной скважины. Соответственно, нагрузка на экологию возрастает многократно, что в таких случаях совершенно неоправданно.

Из вышеприведенного видно, что экологическую нагрузку в определенной мере можно снизить за счет сокращения неоправданных «сухих» скважин. Решение этого вопроса является целью данной работы.

Постановка задачи. Поставленный вопрос можно кардинально решить, если перед бурением на выбранных территориях предварительно провести разведку на нефтегазоносность предполагаемой структуры. И только после получения положительного результата можно переходить к дальнейшему бурению. Сейсморазведка, как уже говорилось, не позволяет решить эту задачу. Поэтому необходимо использовать какие-либо альтернативные методы. До недавнего времени надежных способов такого тестирования не было.

В данной работе рассматривается возможность решения задачи проведения разведки на реальную нефтегазоносность с помощью инновационного сейсмоакустического метода с целью сокращения неоправданного бурения сухих скважин. Это, в конечном счете, способствует решению комплекса актуальных проблем экологии нефтегазового промысла.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время в геофизике начинают интенсивно развиваться инновационные методы исследований, основанные на явлении микросейсмической эмиссии. Наиболее значимые результаты были достигнуты в области эмиссионной микросейсмической томографии, позволяющей изучать глобальные процессы в геологических структурах, такие как землетрясения, вулканические извержения и др. [8]. В прикладных областях явления микросейсмической эмиссии также послужили основанием для создания новых методов. Это, прежде всего, сейсмоакустические низкочастотные методы разведки нефтегазовых залежей.

Принцип сейсмоакустических методов. Такие инновационные методы разведки нефтегазовых залежей основаны на следующем природном явлении. Залежь углеводородов представляет собой некое многокомпонентное, многофазное гетерогенное флюидное образование, сосредоточенное в твердой, пористой среде осадочных пород. Такая сложная система отличается динамичностью и разнообразием происходящих в ней процессов. Это сопровождается эмиссией случайных микросейсм. Таким образом, в окрестностях залежи формируется специфическое низкочастотное шумовое поле со специфическим спектром в виде колоколообразной аномалии в диапазоне характеристических частот 1,5-4,5 Гц. По этому внешнему признаку шумового поля можно обнаружить скрытую в геологическом коллекторе залежь, на чем и основана акустическая низкочастотная разведка «АНЧАР» [9].

Метод «АНЧАР» в свое время был реализован в Институте физической химии и электрохимии РАН совместно с НТК «АНЧАР» и получил международное признание. Сейчас такой подход в том или ином виде воспроизводится рядом фирм и начинает ис-



пользоваться для практических целей. Но практическая реализация такого подхода требует целого ряда высокотехнологичных решений и метод пока ещё не получил широкого применения. В настоящее время мы занимаемся дальнейшим развитием этого направления, разрабатываются решения по повышению надежности обнаружения и детектирования шумовых полей (ДШП-метод) [10].

Особые требования для реализации ДШП-метода. Рассмотрим подробнее в чем суть подхода в реализации ДШП-метода. В целом реализация сейсмоакустических методов напоминает традиционную сейсморазведку и, если говорить формально, то сводится к регистрации и обработке сейсмических сигналов. Но, при этом, следует учесть следующие принципиальные отличия. В ДШП-методе регистрируемый шумовой сигнал формируется самой залежью и не требуется возбуждения внешней мощной волны, как в сейсморазведке. Таким образом, шумовой метод использует естественные природные сигналы и абсолютно экологичен. В этом заключается принципиальное достоинство ДШП-метода.

Реализация такого метода предъявляет повышенные требования к измерительной аппаратуре и к способам обработки сигнала. Во-первых, надо учитывать, что интенсивность эмиссии нефтегазовых микросейсмов исключительно мала и такой слабый сигнал малоразличим на уровне естественного фона. Во-вторых, сигнал носит случайный характер, что создает свои проблемы при его идентификации на общем шумовом фоне, возникает дополнительная задача обнаружения «шума в шуме». Все это предъявляет специальные повышенные требования при реализации ДШП-метода и необходима разработка специальных решений для поставленных задач.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Специальные решения, предлагаемые при реализации ДШП-метода. Рассмотрим подробнее, какие оригинальные авторские подходы применяются в наших разработках ДШП-метода.

Известно, что при анализе шумовых сигналов широко используется традиционная фурье-спектрокопия. Одной из особенностей этого метода является его повышенная восприимчивость к временному тренду сигнала, к его нестабильности, что вносит искажения в получаемый результат. Мы предлагаем использовать другой метод спектрального анализа – метод шумовой спектрокопии Чебышева. Этот метод дает представление сигнала в образе дискретных полиномов Чебышева и, как оказывается, позволяет существенно снизить искажающее влияние временного тренда [11].

В ДШП-методе также применяется подход к анализу шумового сигнала по признаку его Гауссовости. Негауссовская составляющая 3D-микросейсмического шумового поля НГЗ является весьма перспективным информационным параметром. Выделение негауссовской составляющей на фоне почти гауссовского естественного микросейсмического шума [12] позволяет существенно расширить представления о феномене нефтегазовых микросейсмов, а также определить неизвестные ранее свойства залежи углеводородов.

При реализации метода необходимо также учитывать то, что случайный шумовой характер измеряемого сигнала требует применения методов математической статистики и обработки достаточно больших массивов данных. Получение таких массивов возможно только при длительной процедуре (более суток) измерений в режиме 3D-мониторинга на исследуемой площади. При таком длительном мониторинге локальных микросейсмов на результаты измерения начинают сказываться всевозможные глобальные геокосмические факторы. Это, прежде всего, приливно-отливные процессы, циркадные ритмы и барические атмосферные явления. Всё это требует всестороннего учета и корректировки.

Указанные способы обработки и анализа шумового сигнала в целом направлены на повышение надежности прогноза нефтегазовой залежи в ДШП-методе.



Программно аппаратурная реализация предлагаемого решения. На основании изложенных принципов ДШП-метода нами совместно с НТК АНЧАР был разработан и создан аппаратурно-программный комплекс (АПК). На рисунке показан внешний вид аппаратурной части в наземном (а) и в морском (б) исполнении.

Основным блоком является автономный 3D-сейсмомодуль. Сигналы измеряются по трем пространственным координатам с синхронной записью в цифровую автономную память для длительного многосуточного мониторинга. Частота оцифровки сигнала порядка 100 Гц, что позволяет регистрировать сигналы в частотном диапазоне 0,5-40 Гц. Динамический диапазон – 120 дБ, уровень предельной чувствительности на частоте 1 Гц не менее $0,5 \text{ нм} \times \text{Гц}^{-1/2}$. Сейсмомодуль снабжен системой GPS-ГЛОНАС для навигации и для временной синхронизации при когерентной работе в комплексе с другими сейсмомодулями. Вес наземного модуля около 5,5 кг. Морское исполнение отличается более надежной герметизацией для работы в морской среде в шельфовой зоне.

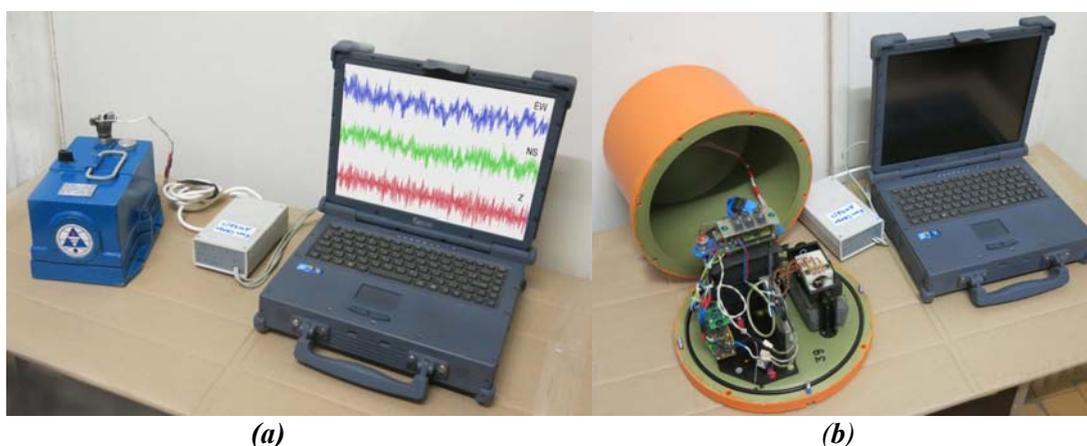


Рис. Аппаратурный комплекс для разведочных работ ДШП-методом:
(а) – наземное исполнение; (б) – морское исполнение

Fig. Hardware complex for exploration using the MNE method:
(a) – land design; (b) – sea design

Как видно, сейсмомодуль характеризуется высокими техническими показателями и, в тоже время, достаточно компактен. Он может оперативно применяться без использования специальной транспортной техники на любых труднодоступных территориях, как на суше, так и на море, и в транзитных зонах, обеспечивая экологическую безопасность местности.

В аппаратурный комплекс входит стандартный ноутбук, предназначенный для настройки, запуска и последующего считывания данных из сейсмомодуля с помощью специальной авторской программы. Связь ноутбука с сейсмомодулем осуществляется через специальный блок по каналу USB. Также предусмотрена связь по стандартному каналу Bluetooth. Возможен контрольный просмотр регистрируемых сигналов непосредственно в полевых условиях в режиме on-line. Последующая обработка и детальный анализ сигналов производится в стационарных условиях по специальным авторским программам. Результат анализа представляется в виде соответствующих карт микросейсмической эмиссионной активности исследуемой территории с заключением о предполагаемой нефтегазоносности.

Апробация АПК. Нами были проведены контрольные испытания нашей аппаратуры в условиях пониженного уровня микросейсмического фона в Арктической зоне на Кольском полуострове. Особые свойства этого региона обусловлены тем, что Кольский полуостров располагается на Балтийском щите, отличающимся большой устойчивостью



и малоподвижностью геологических структур. Проведенные измерения показали высокую предельную чувствительность аппаратуры, достигающую исключительно низкого уровня природного микросейсмического фона в этом регионе. Такие возможности аппаратуры должны обеспечить достаточно высокую надежность прогноза ДШП-метода, в том числе в условиях Каспия.

Эффективность и результативность сейсмоакустических методов разведки в целом была подтверждена многочисленными работами на реальных месторождениях. «Успешность» бурения при этом повышается с обычного уровня 0,3-0,5 до 0,85. Такая высокая достоверность существенно сокращает число неоправданных избыточных разведочных скважин.

ВЫВОДЫ

Применение метода ДШП в комплексе с традиционной сейсморазведкой обеспечивает существенное снижение экологических издержек и рисков поисково-разведочных работ. Необходимость в разведочном бурении снижается в несколько раз за счет повышения успешности бурения до уровня 0,85. Метод относится к категории природоподобных, конвергентных, наукоемких технологий, характеризуется абсолютной экологичностью и малозатратностью. В регионе Каспия в условиях интенсивного развития нефтегазового промысла предлагаемый ДШП-метод будет способствовать поддержанию устойчивого экономического развития территорий при минимизации негативного воздействия на природную среду.

Благодарность: Работа подготовлена по теме государственного задания ФГБУН ИФХЭ РАН «Электрохимическая кинетика и массоперенос в макро- и наносистемах», номер гос. регистрации N 01.2.00901138

Acknowledgment: The paper was prepared within the framework of the state task under the registration number 01.2.00901138 of the “Electrotechnical Kinetics and Mass Transfer in the Macro- and Nano-Systems” of the A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жильцов С.С., Пархомчик Л.А. Роль углеводородных ресурсов в развитии Каспийского региона // PolitBook. 2017. Вып. 3. С. 159-171. URL: http://politbook.online/images/pdf/PolitBook2017_Issue_3.pdf (дата обращения: 05.02.2019)
2. Конвенция о правовом статусе Каспийского моря. 12 августа 2018 г. Пятый Каспийский саммит. Казахстан, Актау. URL: <http://www.kremlin.ru/supplement/5328> (дата обращения: 05.02.2019)
3. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа: В 2-х т. 2-е изд. переработанное и дополненное. Т. 2: Экологические последствия, мониторинг и регулирование при освоении углеводородных ресурсов шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 284 с.
4. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа: в 2-х т. 2-е изд. переработанное и дополненное. Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. М.: изд-во ВНИРО, 2017. 326 с.
5. Гусейнова С.А. Влияние отходов бурения на гидробионтов // Юг России: экология, развитие. 2015. Т. 10. N 3. С. 121-126. DOI: 10.18470/1992-1098-2015-3-121-126
6. Мельникова Е.В., Семисотова О.С., Фоменко Е.В., Серебрякова В.И., Серебрякова О.А. Геоэкологические мероприятия безопасного ведения работ, связанные с использованием недр Северного Каспия // Геология, география и глобальная энергия. 2015. N4 (59). С. 97-105.



7. Люкшина Л.В., Соколов А.Г. Результаты сейсморазведочных работ на нефть и газ в Оренбургской области. URL: <http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/457/1/944-950.pdf> (дата обращения: 05.02.2019)
8. Khrepy S.E., Koulakov I., Al-Arifi N., Petrunin A.G. Seismic Structure Beneath the Gulf of Aqaba and Adjacent Areas Based on the Tomographic Inversion of Regional Earthquake Data // *Solid Earth*. 2016. V. 7. Iss 3. P. 965-978. DOI: 10.5194/se-7-965-2016
9. Кузнецов О.Л. Эффект АНЧАР – предвестник новой философии геофизической разведки // *Технологии сейсморазведки*. 2010. N 1. С. 7-8.
10. Цивадзе А.Ю. Перспективный метод поиска нефтегазовых залежей. Беседа с академиком А.Ю. Цивадзе // *Вестник Российской академии наук*. 2014. Т. 84. N 3. С. 249-252. DOI: 10.7868/S0869587314030207
11. Ключев А.Л., Давыдов А.Д., Графов Б.М., Добровольский Ю.А., Укше А.Е., Астафьев Е.А. Электрохимическая шумовая спектроскопия: метод вторичного спектра Чебышева // *Электрохимия*. 2016. Т. 52. N 10. С. 1123-1127. DOI: 10.7868/S0424857016100066
12. Графов Б.М. О мере негауссовости почти гауссовского электрохимического шума // *Электрохимия*. 2014. Т. 50. N 5. С. 548. DOI: 10.7868/S0424857014050065

REFERENCES

1. Zhiltsov S., Parkhomchik L. [The Role of Hydrocarbon Resources in Development of the Caspian Region]. *PolitBook*, 2017, iss. 3, pp. 159-171. Available at: http://politbook.online/images/pdf/PolitBook2017_Issue_3.pdf (In Russian) (accessed 05.02.2019)
2. *Konventsiya o pravovom statuse Kaspiiskogo morya. 12 avgusta 2018 g. Pyatyi Kaspiiskii sammit. Kazakhstan, Aktau* [Convention on the Legal Status of the Caspian Sea». 12.08.2018. Fifth Caspian Summit. Republic of Kazakhstan, Aktau]. Available at: <http://en.kremlin.ru/supplement/5328> (accessed 05.02.2019)
3. Patin S.A. Oil and continental shelf ecology. In: *Ekologicheskie posledstviya, monitoring i regulirovanie pri osvoenii uglevodородnykh resursov shel'fa* [Environmental consequences, monitoring and regulation of the offshore oil and gas development]. Moscow, VNIRO Publ., 2017, vol. 2, 284 p. (In Russian)
4. Patin S.A. Oil and continental shelf ecology. In: *Morskoi neftegazovyi kompleks: sostoyanie, perspektivy, faktory vozdeistviya* [Offshore oil and gas industry: present situation, prospects, factors of impact]. Moscow, VNIRO Publ., 2017, vol. 1, 326 p. (In Russian)
5. Guseinova S.A. Impact of drilling waste on hydrobionts. *South of Russia: ecology, development*, 2015, vol. 10, no. 3, pp. 121-126. (In Russian) Doi: 10.18470/1992-1098-2015-3-121-126
6. Melnikova Ye.V., Semisotova O.S., Fomenko Ye.V., Serebryakova V.I., Serebryakova O.A. Geocological Actions of Safe Operation Connected with Use of the Subsoil of the Northern Caspian Sea. *Geologia. Geografiya I Globalnaya Energiya* [Geology, Geography and Global Energy]. 2015, no. 4(59), pp. 97-105. (In Russian)
7. Lyukshina L.V., Sokolov A.G. *Rezultaty seismorazvedochnykh rabot na nef't' i gaz v Orenburgskoi oblasti* [The results of seismic exploration for oil and gas in the Orenburg region]. Available at: <http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/457/1/944-950.pdf> (In Russian) (accessed 05.02.2019)
8. Khrepy S.E., Koulakov I., Al-Arifi N., Petrunin A.G. Seismic Structure Beneath the Gulf of Aqaba and Adjacent Areas Based on the Tomographic Inversion of Regional Earthquake Data. *Solid Earth*, 2016, vol. 7, iss 3, pp. 965-978. Doi: 10.5194/se-7-965-2016
9. Kuznetsov O. ANCHAR effect – a precursor of a new philosophy of geophysical survey. *Tekhnologii seismorazvedki* [Seismic Technologies]. 2010, no. 1, pp. 7-8. (In Russian)



10. Tsivadze A.Y. Promising method of searching for oil and gas. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 84, no. 2, pp. 249-252. (In Russian) Doi: 10.7868/S0869587314030207
11. Klyuev A.L., Davydov A.D., Grafov B.M., Dobrovolskii Y.A., Ukshe A.E., Astaf'ev E.A. Electrochemical noise spectroscopy: Method of secondary Chebyshev spectrum. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2016, vol. 52, no. 10, pp. 1001-1005. (In Russian) Doi: 10.1134/S1023193516100062
12. Grafov B.M. On the measure of non-gaussianity of a nearly Gaussian noise. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2014, vol. 50, no. 5, pp. 490-495. (In Russian) Doi: 10.1134/S1023193514050061

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Аслан Ю. Цивадзе, доктор химических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва, Россия; тел.: +7(495)955-46-30; e-mail: tsiv@phyche.ac.ru

Юрий В. Сиротинский, кандидат технических наук, заведующий межведомственной лабораторией Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва, Россия; тел.: +7(495)954-55-85; e-mail: yusiro@mail.ru

Михаил А. Абатуров*, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН; Ленинский пр., 31, к.4, г. Москва, 119071 Россия; тел. +7(495) 955-47-44, +7(916)293-22-74; e-mail: abatur@yandex.ru

Критерии авторства

Аслан Ю. Цивадзе – формулировка цели, обсуждение и обобщение результатов, выводы. Юрий В. Сиротинский – постановка конкретной задачи, анализ полученных результатов. Михаил А. Абатуров – обработка и систематизация результатов, оформление текста. Все авторы в равной степени несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 11.02.2019

Принята в печать 19.03.2019

AUTHOR INFORMATION

Affiliations

Aslan Yu. Tsivadze, Dr. Sci. (Chem.), Prof., Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; tel.: +7(495)955-46-30; e-mail: tsiv@phyche.ac.ru

Yuriy V. Sirotnskiy, Cand. Sci. (Tech.), Head of the Interdepartmental Laboratory, A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Moscow, Russia; tel.: +7(495)954-55-85; e-mail : yusiro@mail.ru

Mikhail A. Abaturov*, Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher, A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry; 119071 Russia, Moscow, Leninskiy Prospect, 31, b.4; tel. +7(495)955-47-44, +7(916)293-22-74; e-mail: abatur@yandex.ru

Contribution

Aslan Yu. Tsivadze formulated the research aim, participated in the discussion and generalization of the results. Yuriy V. Sirotnskiy formulated a specific task and analysed the results obtained. Processing and systematisation of results, as well as manuscript preparation was performed by Mikhail A. Abaturov. All the authors are equally responsible for plagiarism and self-plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 11.02.2019

Accepted for publication 19.03.2019