ИЗУЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ ТЕРРИГЕННОГО ТИПА**STUDY OF ACOUSTIC EMISSION PROCESSES OF TERRIGENOUS TYPE RESERVOIRS****Г. В. Иголкина**
Galina V. IolkinaИнститут геофизики
им. Ю.П. Булашевича
Уральского отделения
Российской академии наук,
г. Екатеринбург,
Российская ФедерацияInstitute of Geophysics named
for Yu. P. Bulashevich, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russian Federation**В. В. Дрягин**
Veniamin V. DryaginИнститут геофизики
им. Ю.П. Булашевича
Уральского отделения
Российской академии наук,
г. Екатеринбург,
Российская ФедерацияInstitute of Geophysics named
for Yu. P. Bulashevich, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russian Federation**З. С. Мезенина**
Zifa S. MezeninaИнститут геофизики
им. Ю.П. Булашевича
Уральского отделения
Российской академии наук,
г. Екатеринбург,
Российская ФедерацияInstitute of Geophysics named
for Yu. P. Bulashevich, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russian Federation

В статье рассматриваются вопросы, связанные с изучением акустических эмиссионных процессов пластов-коллекторов терригенного типа. Акустический мониторинг нефтяной залежи, основанный на ее высоком эмиссионном потенциале и временной устойчивости процессов излучения упругой энергии, обеспечивает надежный источник информации для поиска нефти и газа.

Актуальность заключается в необходимости решения ключевой проблемы разработки месторождения нефти, а именно: в получении надежной информации о текущей насыщенности пласта в связи с вступлением уникальных и крупных высокопродуктивных месторождений, дающих основную нефть, в стадию падающей добычи, для которой характерна высокая обводненность.

Изучены параметры акустической эмиссии (АЭ) флюидонасыщенного образца коллектора терригенного типа при внешнем акустическом воздействии на установку исследования керна в условиях, приближенных к пластовым. Зарегистрирован и выполнен детальный анализ сигналов акустической эмиссии в поровом пространстве керна в сухом и насыщенном состояниях различными видами жидкостей: водой, керосином, нефтью.

Керны, насыщенные нефтью, обладают максимальной величиной накопленного сигнала и, соответственно, высокой скоростью выделения сигнала, которая имеет импульсный характер. В кернах, насыщенных водой, наблюдается стабильный спад сигнала, при этом дисперсия сигнала АЭ в воде была как минимум в 2–3 раза меньше, чем в нефти.

Обнаружена связь изменений акустической эмиссии с насыщенностью пласта-коллектора, которые происходят после внешнего акустического воздействия на него, что выражается в увеличении уровня АЭ в нефтенасыщенном пласте и его уменьшении в водонасыщенном пласте.

Практическая значимость заключается в использовании нового метода каротажа сейсмоакустической эмиссии в повышении нефтеотдачи месторождений, а именно: существенное, на порядок, сокращение затрат на поддержание уровня нефтеотдачи по сравнению с методами закачки химреагентов или гидроразрыва пласта.

Ключевые словаакустическая эмиссия,
нефтегазоносность,
акустическое воздействие,
нефтенасыщенная
пористая среда, керн,
пласт-коллектор

The article deals with issues related to the study of acoustic emission processes of terrigenous-type reservoirs. Acoustic monitoring of oil deposits, based on its high emission potential and the time stability of the processes of emission of elastic energy, provides a reliable source of information for searching for oil and gas.

The urgency lies in the need to solve the key problem of oil field development, namely: to obtain reliable information about the current reservoir saturation due to the entry of unique and large high-yield fields, which give the main oil, into the stage of falling production, which is characterized by high water content.

There were studied parameters of acoustic emission (AE) of a fluid-saturated sample of a terrigenous reservoir type with external acoustic impact on the installation of the core research in the conditions close to the reservoir. A detailed analysis of acoustic emission signals in the pore space of the core in dry and saturated states with various types of liquids has been registered and performed: water, kerosene, oil.

Oil-saturated cores have a maximum accumulated signal and, accordingly, a high signal extraction rate, which has a pulsed character. In the cores saturated with water, there is a stable decline in the signal, while the dispersion of the AE signal in water was at least 2–3 times less than in oil.

The connection of acoustic emission changes from a saturation of the reservoir, which occur after the external acoustic impact on it, which is reflected in an increase in the level of AE in oil-saturated reservoir and reduction in water-saturated reservoir.

The practical significance lies in the use of a new method of logging of seismic acoustic emission in enhancing oil recovery of deposits, namely: a significant, by an order of magnitude, reduction in the cost of maintaining oil recovery compared to chemical injection or hydraulic fracturing methods.

Key words

acoustic emission,
oil and gas bearing capacity,
acoustic impact, oil saturated porous
medium, core, reservoir bed

Введение

Упругая энергия пласта-коллектора, насыщенного нефтью и газом, является надежным информационным параметром его продуктивности. Проявление этой энергии происходит в виде микросейсмических событий в широком диапазоне частот, от единиц герц до десятков килогерц, а динамические процессы отражаются в изменениях частоты акустической эмиссии (АЭ). Теоретические модели открывают возможности для совместной интерпретации различных геофизических и геодинамических данных, устанавливают новые важные параметры энергоструктуры литосферы и намечают пути их определения комплексом геофизических методов [1]. Кроме того, изменения деформированного состояния пористой среды вызывают акустическую эмиссию, а насыщение влияет на процесс накопления упругой энергии и выделения ее в виде акустической эмиссии [2].

Доминирующая частота акустической волны эмиссионного происхождения в песчанике возникает при любом виде механических напряжений и составляет порядка 20–30 Гц, в частности для глин 40 Гц [3–6]. Генерация этих волн происходит за счет внутреннего разрушения массива, причем в плотном и влажном песке при повышении сжимающей нагрузки [3] низкочастотная составляющая

спектра акустической эмиссии 25 Гц начинает дополняться высокочастотными составляющими в широком диапазоне, до 20 кГц. При этом отмечается появление двух максимумов в спектре эмиссии: первый в диапазоне 2–16 Гц, второй 630–1000 Гц, в зависимости от степени нагружения. Здесь отмечается один существенный показатель — сдвиг частоты высокочастотного максимума в сторону низких частот, который может составлять двойное понижение частоты при переходе от сухого песка к водонасыщенному.

Акустический мониторинг нефтяной залежи, основанный на ее высоком эмиссионном потенциале и временной устойчивости процессов излучения упругой энергии, обеспечивает надежный источник информации для поиска нефти и газа. Особое значение здесь имеет изучение реакции среды на внешнее механическое воздействие и опосредованное воздействие, возникающее в самой среде под действием так называемой вызванной (активной) сейсмоакустической эмиссии [7–9].

Целью нашей работы является проведение физического моделирования эмиссионного акустического излучения в широком диапазоне частот при наложении динамических нагрузок на образцы горных пород, неоднородных по составу, структуре и текстуре.

Методика

Сделанные в статье [10] выводы о перспективе развития методов поиска и разведки нефти на основе использования естественной и вызванной (активной) АЭ получили убедительное подтверждение в работе [7]. Влияние на залежь акустическим воздействием, описанное в этой работе, связывают с увеличением добычи нефти за счет увеличения фазовой проницаемости коллектора.

Новизна исследований заключается в изучении эмиссионного отклика насыщенной пористой среды на внешнее акустического воздействие, которое изменяет фоновое состояние среды, связанное с изменениями фильтрационных свойств и фазового равновесия многокомпонентного флюида, сопровождающимися локальной разрядкой упругой энергии и могут быть зарегистрированы удаленными сенсорами.

Актуальность заключается в необходимости решения ключевой проблемы разработки месторождения нефти, а именно: в получении надежной информации о текущей насыщенности пласта в связи с вступлением уникальных и крупных высокопродуктивных месторождений, дающих основную нефть, в стадию падающей добычи, для которой характерна высокая обводненность.

Поэтому, для того чтобы провести измерения в нефтегазовых скважинах, было необходимо сделать исследования акустической эмиссии флюидонасыщенного образца коллектора терригенного типа при внешнем акустическом воздействии в лабораторных условиях. Исследования керна на керновой установке в лабораторных условиях позволили получить данные об эмиссии до и после акустического воздействия при различном насыщении кернов. Эти сведения позволили установить связь между данными, полученными в лаборатории и в скважинах. А именно, при одинаковости отклика можно было бы с уверенностью говорить об успешности метода в скважинах. В свою очередь, это может быть доказательством увеличения коэффициента продуктивности при акустическом воздействии на пласт-коллектор в нефтегазовых скважинах [11, 12].

Для исследования процессов акустической эмиссионной активности в кернах в условиях деформированного состояния, фильтрации флюида и внешнего акустического воздействия был поставлен эксперимент на установке УИК-АЭ, разработка ООО «НПФ «Интенсоник» [11, 12]. Принцип действия

установки основан на совмещении функции фильтрации флюида через керн, функции облучения его акустическим полем большой интенсивности и регистрации сигналов акустической эмиссии на входе и выходе керна по отношению к потоку флюида [7].

Детальный анализ процессов в пласте был произведен при помощи разложения сигнала АЭ на эмпирические моды методом Гильберта-Хуанга, с последующим применением к полученным компонентам разложения преобразования Гильберта. Метод позволяет реализовать адаптивный анализ нелинейных и нестационарных сигналов и получить набор эмпирических мод непосредственно из данных временной реализации сигнала, что дает возможность учесть все его локальные особенности в реальном времени [13].

Результаты

В разрезе Тевлинско-Русскинского месторождения были выявлены по геологическим и петрофизическим данным несколько пластов-коллекторов с различной насыщенностью, залегающих на глубинах 2500–2900 м. Пласты сложены мелкозернистыми песчаниками с прослоями алевролитов и аргиллитов. Коллекторами являются песчаники и алевролиты, неколлекторами — аргиллиты и глины. Фильтрационно-емкостные свойства этих коллекторов изменяются в широких пределах: коэффициенты пористости от 21,2 % до 26,9 %, коэффициенты проницаемости — от 2 до 444 мД [14].

Эксперименты проводились с образцами пористого, слабоглинизированного песчаника пласта БС 10(2–3) Тевлинско-Русскинского месторождения. Размер керна: диаметр 30 мм, длина 90 мм, состоит из двух частей, верхний и нижний керны. Длина верхнего 50 мм, нижнего 40 мм. Для верхнего керна коэффициенты пористости ($K_{по}$) около 21,4 %, коэффициенты проницаемости ($K_{пр}$) равны 89,99 мД. Для нижней части керна коэффициенты пористости равны 20,5 %, коэффициенты проницаемости равны 89,39 мД.

В процессе подготовки к проведению экспериментов (насыщение флюидом) образцы подвергались взвешиванию. После взвешивания сухих образцов производилось насыщение их водой под вакуумом в течение 2 ч при комнатной температуре. В дальнейшем производилось центрифугирование образцов в 3 этапа. Продолжительность каждого этапа центрифугирования составляла 20 мин. Скорость вращения центрифуги составляла

3500 об/мин. В результате получали образцы с остаточным водонасыщением. Поэтому в начале эксперимента керн имел остаточную насыщенность водой в соответствии с требованиями стандарта исследования кернов, т. е. был практически «сухой».

Далее исследования волновых эмиссионных процессов в кернах производились в условиях, максимально приближенных к пластовым давлениям. Процесс сжатия образца до давлений, близких к пластовым условиям, состоял из двух составляющих: первое — осевое сжатие с целью создания напряженного состояния, соответствующего горному давлению, второе — гидростатическое обжатие керна с целью создания пластового давления жидкости. Во время подъема давления непрерывно происходила запись параметров давления жидкости и сигналов акустической эмиссии [11,

12]. Последовательность действий этих нагрузок сопровождалась регистрацией сигналов акустической эмиссии по измерительным датчикам-акселерометрам акустической эмиссии на выходе и входе керна.

В процессе эксперимента по схеме (рисунок 1) к керну прикладывались нагрузки в виде осевого сжатия, гидравлического обжатия и фильтрации жидкостей: керосина, нефти и воды. В начале эксперимента керн имел остаточную насыщенность водой в соответствии с требованиями стандарта исследования кернов, т. е. был практически «сухой» с точки зрения приложения механических нагрузок, которые передавались по твердой фазе пористого песчаника. Эмиссионная активность «сухого» образца при возрастании давления P_1 и P_2 проявляется в виде одиночных высокочастотных импульсов (ВЧ) с задержкой в

1 — камера высокого давления; 2 — резиновая манжета; 3 — керн; 4 и 5 — разборные элементы крепления и герметизации керна — фланцы с уплотнительными кольцами и хомутами фиксации; 6 — нижняя опора керна для передачи осевого усилия и подачи флюида; 7 — входной герметичный штуцер для ввода флюида; 8 и 9 — условное обозначение плунжерных насосов для приема (8) и подачи (9) флюида в керн; 10 и 11 — измерительные датчики акустической эмиссии на выходе и входе керна; соответственно; 12 — элемент устройства обеспечивающего осевое сжатие керна

P_1 — осевое давление сжатия; P_2 — давление обжатия керна; P_4 — давление флюида на входе керна; P_3 — давление флюида на выходе керна; X_1 и Z_1 — датчики ускорения продольных и поперечных колебаний на входе керна; X_2 и Z_2 — датчики на выходе керна. Вход и выход керна — это условное обозначение относительно подачи насыщающего флюида

Рисунок 1. Конструкция узла крепления керна (а), схема приложений усилий и расположения измерительных датчиков в установке УИК-АЭ (б)

несколько секунд относительно начала повышения давления (рисунок 2).

Гармонический состав этих импульсов остается практически постоянным на время всего процесса обжата керна и находится в высокочастотной области спектра порядка единиц и десятков килогерц (рисунок 3).

Присутствие жидкости в поровом пространстве сразу же меняет энергетический состав эмиссионного спектра. Насыщение керна флюидами происходило поэтапно путем замещения одного вида жидкости другим в три

этапа. На первом этапе керн был насыщен керосином до предельного состояния в соответствии с требованиями отраслевого стандарта. Всестороннее сжатие керна гидростатическими давлениями P_1 и P_2 также сопровождалось акустической эмиссией, в которой уже появились низкочастотные составляющие (рисунок 4).

Задержка эмиссионной активности (по сигналу X_2) относительно начала подъема давлений составляет 5–6 с по отношению к P_1 , P_2 , а по отношению к давлению прокачки

Рисунок 2. Эмиссионная активность «сухого» керна при гидростатическом сжатии

Рисунок 3. Фрагмент записи эмиссионного сигнала длительностью 3 м/с и его спектр

Рисунок 4. Эмиссионная активность керна, предельно насыщенного керосином в процессе гидростатического сжатия

РЗ, Р4 — составляет 2–4 с. Отставание роста давления на выходе керна относительно входа составляет 2 с. В этих экспериментах задержка эмиссионной активности составляла 7,5 с после прекращения импульсного механического воздействия на керн.

Влияние нефти на эмиссионную активность керна производилось методом замещения керосина путем ее прокачки по каналу Р4–Р3 (рисунок 5).

Очевидно, эти задержки эмиссионной активности после приложения напряжений ме-

ханического и/или гидродинамического типа связаны с гистерезисной инерционностью среды. Зафиксирован детальный анализ сигналов эмиссии и волновой характер процессов инициирования источников упругой энергии в насыщенном поровом пространстве керна.

При этом были зарегистрированы низкочастотные монохроматические волновые процессы в кернах, собственная частота которых была характерна для каждого типа флюида.

Рисунок 5. Прокачка нефти по керну по каналу «вход — выход» керна

В кернах из терригенного коллектора было обнаружено появление низкочастотного максимума в спектре эмиссионного сигнала только после насыщения его флюидом нефти. Причем величина частоты и амплитуда частотной характеристики зависят от типа флюида, который последовательно заменяли в цикле: керосин — нефть — вода. Поэтому после исследований керна при остаточном водонасыщении образцы насыщались керосином под вакуумом в течение 4 ч. Плотность керосина при 20 °С — 0,75–0,85 г/см³. Керосин очень легко испаряется, чем и обусловлена полнота его сгорания, в отличие от нефти.

Примеры распределения частот до и после акустического воздействия показаны на рисунке 6. Амплитуда акустического сигнала керна (А), насыщенного водой, измеренного до и после акустического воздействия, осталась практически неизменной. А амплитуда акустического сигнала керна, насыщенного

нефтью, после акустического воздействия увеличилась более чем в 2 раза [11, 12].

Для керна, насыщенного водой, частотное распределение сигналов акустической эмиссии идет значительно ниже при уменьшении частоты, вплоть до частоты 100 Гц, затем резко, почти на два порядка, поднимается в диапазоне 20–50 Гц (рисунок 7). Поведение частотных характеристик акустической эмиссии кернов, насыщенных керосином и нефтью, в этом низкочастотном диапазоне существенно различается. До диапазона частоты 100–300 Гц характеристики керна, насыщенного нефтью и керосином, тоже близки. В насыщенном керосином керне сигнал имеет наименьшее значение, а при насыщении нефтью — занимает промежуточное значение (рисунок 7).

Для образца «сухого» керна с остаточным водонасыщением количество частотных импульсов в процентах акустической эмиссии сосредоточено в основном в высокочастотной части спектра, в пределах от 3 до 15 кГц.

а), б) — керн песчаника, насыщенный водой; в), г) — керн песчаника, насыщенный нефтью.
А, усл. ед. — амплитуда акустического сигнала

Рисунок 6. Распределение частот до (а, в) и после акустического воздействия (б, г)

1 — «сухой» керн; 2 — керн, насыщенный керосином; 3 — керн, насыщенный нефтью; 4 — керн, насыщенный водой; N, % — количество частотных импульсов

Рисунок 7. Частотное распределение сигналов акустической эмиссии в керне при различном насыщении

Нижний предел частоты в эмиссионный сигнал не превышает 2–3 % на частоте порядка 300–700 Гц (рисунок 7).

Выводы

Обнаружена связь изменений акустической эмиссии с насыщенностью пласта-коллектора, которые происходят после акустического воздействия на него, что выражается в увеличении уровня АЭ в нефтенасыщенном пласте и его уменьшении в водонасыщенном образце керна.

В результате исследований уточнена эффективность оценки нефтегазонасыщенности коллекторов, в основу которой положено изменение акустической эмиссии на акустическое воздействие в флюидонасыщенном

образце пласта-коллектора. Результаты исследования акустической эмиссии керна могут быть использованы при интерпретации данных каротажа сейсмоакустической эмиссии (КСАЭ). Практическая значимость заключается в использовании нового метода КСАЭ в повышении нефтеотдачи месторождений, а именно: существенное, на порядок, сокращение затрат на поддержание уровня нефтеотдачи по сравнению с методами закачки химреагентов или гидроразрыва пласта.

Работа частично выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований по Отделению наук о Земле Уральского отделения РАН, проект № 18-5-5-29 и с использованием данных НПФ «Интенсоник».

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дмитриевский А.Н., Володин И.А. Формирование и динамика энергоактивных зон в геологической среде // Доклады РАН. 2006. Т. 411. № 3. С. 395–399.
2. Хисматуллин Р.К. Динамика напряженно-деформированного состояния горной породы при разных типах насыщенности // Вестник СамГУ. Естественнаучная серия. 2007. № 9/1 (59). С. 232–241.
3. Вильчинская Н.А., Николаевский В.Н. Акустическая эмиссия и спектр сейсмических сигналов // Известия АН СССР. Серия Физика Земли. 1984. № 5. С. 91–100.
4. Даниленко В.А., Микуляк С.В. Характерные особенности распространения нелинейных волн в сы-

пучей среде // Доклады Национальной академии наук Украины. 2012. № 12. С. 95–98.

5. Николаевский В.Н., Степанова Г.С. Нелинейная сейсмика и акустическое воздействие на нефтеотдачу пласта // Акустический журнал. 2005. Т. 51. Вып. 7. С. 150–159.

6. Терцаги К. Теория механики грунтов: пер. с нем. М.: Госстройиздат, 1961. 507 с.

7. Дрягин В.В. Сейсмоакустическая эмиссия нефтепродуктивного пласта // Акустический журнал. 2013. Т. 59. Вып. 6. С. 744–751.

8. Дрягин В.В., Кузнецов О.Л., Стародубцев А.А., Рок В.Е. Поиск углеводородов методом вызванной сейсмоакустической эмиссии в скважинах // Акустический журнал. 2005. Т. 51. Вып. 7. С. 66–73.

9. Чеботарева И.Я., Володин И.А., Дрягин В.В. Генерация низкочастотной ветки акустической эмиссии в горных породах под воздействием // Доклады РАН. 2016. Т. 468. № 2. С. 205–208.

10. Беляков А.С., Гамбурцев А.Г., Лавров В.С., Николаев А.В., Приваловский Н.К. Иницирующие вибровоздействия и сейсмическая эмиссия горных пород // Физика Земли. 1996. № 2. С. 68–74.

11. Дрягин В.В., Иванов Д.Б., Иголкина Г.В., Мезенина З.С. О лабораторных исследованиях керна и создании интерпретационных моделей нефтенасыщенности по данным каротажа КСАЭ // Глубинное строение. Геодинамика. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей: Седьмые научные чтения Ю.П. Булашевича: материалы. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2013. С. 115–117.

12. Иголкина Г.В., Дрягин В.В. Исследование акустической эмиссии флюидонасыщенного образца коллектора терригенного типа при внешнем акустическом воздействии // Геоинформатика: теоретические и прикладные аспекты: тез. докл. 16-й Междунар. конф. Киев, 2017. Тезис № 10650.6 с.1 электрон. опр. диск (CD-ROM).

13. Huang N.E., Shen Z., Long S.R., Wu M.C., Shih H.H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.C., Liu H.H. The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-stationary Time Series Analysis // The Royal Society's Physical Sciences Research Journal. 1998. Vol. 474. P. 903–995.

14. Дортман Н.Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. 1984. 455 с.

REFERENCES

- Dmitrievskii A.N., Volodin I.A. Formirovanie i dinamika `energoaktivnykh zon v geologicheskoi srede [Formation and Dynamics of Energy-Active Zones in the Geological Environment]. *Doklady RAN — Reports of RAS*, 2006, Vol. 411, No. 3, pp. 395–399. [in Russian].
- Khismatullin R.K. Dinamika napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornoj porody pri raznykh tipakh nasyschennosti [The Dynamics of the Stress-Strain State of the Rock at Different Types of Saturation]. *Vestnik SamGU. Estestvennonauchnaya seriya — Bulletin of SamSU. Natural Science Series*, 2007, No. 9/1 (59), pp. 232–241. [in Russian].
- Vilchinskaya N.A., Nikolaevsky V.N. Akusticheskaja `emissiya i spektr seismicheskikh signalov [Acoustic Emission and Spectrum of Seismic Signals]. *Izvestiya AN SSSR, Ser. Fizika Zemli — News of the Academy of Sciences of the USSR. Series Physics of the Earth*, 1984, No. 5, pp. 91–100. [in Russian].
- Danilenko V.A., Mikulyak S.V. Kharakternye osobennosti rasprostraneniya nelineinykh voln v sypuchej srede [Characteristic Features of the Propagation of Non-Linear Waves in a Flowing Medium]. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Ukrainy — Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2012, No. 12, pp. 95–98. [in Russian].
- Nikolaevskii V.N., Stepanova G.S. Nelineinaya seismika i akusticheskoe vozdeistvie na nefteotdachu plasta [Nonlinear Seismic and Acoustic Effects on the Reservoir Oil Recovery]. *Akusticheskii zhurnal — Acoustic Journal*, 2005, Vol. 51, Issue 7, pp. 150–159. [in Russian].
- Tertsagi K. Teoriya mekhaniki gruntov [Theory of Soil Mechanics]. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1961. 507 p. [in Russian].
- Dryagin V.V. Seismoakusticheskaya emissiya nefteproduktivnogo plasta [Seismoacoustic Emission of the Oil-Producing Formation]. *Akusticheskii zhurnal — Acoustic Journal*, 2013, Vol. 59, Issue 6, pp. 744–751. [in Russian].
- Dryagin V.V., Kuznetsov O.L., Starodubtsev A.A., Rok V.E. Poisk uglevodorodov metodom vyzvannoi seismoakusticheskoi emissii v skvazhinakh [Search of Hydrocarbons by the Method of Induced Seismic Emission in Wells]. *Akusticheskii zhurnal — Acoustic Journal*, 2005, Vol. 51, Issue 7, pp. 66–73. [in Russian].
- Chebotareva I.Ya., Volodin I.A., Dryagin V.V. Generatsiya nizkochastotnoi vetki akusticheskoi emissii v gornykh porodakh pod vozdeystviem [Generation of a Low-frequency Branch of Acoustic Emission in Rocks under the Influence]. *Doklady RAN — Reports of RAS*, 2016, Vol. 468, No. 2. pp. 205–208. [in Russian].
- Belyakov A.S., Gamburtsev A.G., Lavrov V.S., Nikolaev A.V., Privalovskii N.K. Initsiiruyushchie vibrovozdeistviya i seismicheskaya emissiya gornykh porod [Initiating Vibroexposure and Seismic Emission of Rocks]. *Fizika Zemli — Physics of the Earth*, 1996, No. 2, pp. 68–74. [in Russian].
- Dryagin V.V., Ivanov D.B., Igolkina G.V., Mezenina Z.S. O laboratornykh issledovaniyakh kerna i sozdaniy interpretatsionnykh modelei neftenasyshchennosti po dannym karotazha KSAE [On Laboratory Studies of the Core and the Creation of Interpretational Models of Oil Saturation According to the Logging Data KSAE]. *Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii «Glubinnostroyeniye. Geodinamika. Teplovoe pole Zemli. Interpretatsiya geofizicheskikh polej. Sed'mye nauchnye chteniya Ju.P. Bulashevicha.»* [Proceedings of the International Conference «Depth Structure. Geodynamics. Thermal Field of the Earth. Interpretation of Geophysical Fields: Seventh Scientific Readings of Yu.P. Bulashevich»]. Ekaterinburg, IGF Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2013, pp. 115–117. [in Russian].
- Igolkina G.V., Dryagin V.V. Issledovanie akusticheskoi emissii flyuidonasyshchennogo obraztsa kollektora terrigennoy tipa pri vneshnem akusticheskom vozdeystvii [Study of the Acoustic Emission of a Terrigenous Type Collector Fluid Saturation Sample under External Acoustic Influence]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy konferentsii «Geoinformatika: teoreticheskie i prikladnye aspekty»* [Proceedings of the 16-th EAGE International Conference «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects»]. Kiev, 2017. Thesis No. 10650.6, p.1 electron. Opt. disk (CD-ROM). [in Russian].
- Huang N.E., Shen Z., Long S.R., Wu M.C., Shih H.H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.C., Liu H.H. The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-Stationary Time Series Analysis. *The Royal Society's Physical Sciences Research Journal*, 1998, Vol. 474, pp. 903–995.
- Dortman N.B. *Fizicheskie svoystva gornykh porod i poleznykh iskopaemykh (petrofizika)* [Physical Properties of Rocks and Minerals (Petrophysics)]. [Handbook of Geophysics]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 455 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Иголкина Галина Валентиновна, д-р геол.-минерал. наук, зав. лабораторией промысловой геофизики Института геофизики им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Galina V. Igolkina, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Well Logging Laboratory, Institute of Geophysics named for Yu. P. Bulashevich, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

e-mail: galinaigolkina@yandex.ru

Дрягин Вениамин Викторович, канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории промысловой геофизики Института геофизики им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Veniamin V. Dryagin, Candidate of Engineering Sciences, Researcher at Well Logging Laboratory Institute of Geophysics named for Yu. P. Bulashevich, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

Мезенина Зифа Сабирьяновна, научный сотрудник лаборатории промысловой геофизики Института геофизики им. Ю.П. Булашевича Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Zifa S. Mezenina, Researcher of Well Logging Laboratory, Institute of Geophysics named for Yu. P. Bulashevich, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation