



УДК 550.834:553.98)

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОИСКА ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ И АКТУАЛЬНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

А. В. Жарков¹, Л. А. Максимов², Г. Н. Яшков³¹Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия; ²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия; ³ООО НМТ-Сейс, Новосибирск, Россия

Рассмотрены особенности и современное состояние сейсмических технологий прямого поиска залежей углеводородов по геодинамическим шумам, которые они излучают. Приведены возможности и ограничения этих технологий при геолого-разведочных работах на нефть и газ. Даны рекомендации по методологии их использования на разных стадиях таких работ. Отмечено, что технологии с наведенным геодинамическим шумом перспективны для поиска залежей в породах фундамента, а также для поиска взрывоопасных зон скопления газа в Арктике и зон флюидопотока из недр Земли.

Ключевые слова: сейсморазведка, прямой поиск залежей углеводородов, геодинамические шумы, залежи в фундаменте, зоны скопления газа в Арктике, флюидопоток из недр Земли.

DIRECT SEISMIC EXPLORATION FOR HYDROCARBON POOLS AND TOPICAL GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL TASKS

А. В. Zharkov¹, L. A. Maksimov², G. N. Yashkov³¹Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia; ²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia; ³LLC NMT-Seis, Novosibirsk, Russia

In the paper, the authors consider the current state and features of direct seismic survey for hydrocarbon pools based on geodynamic noise they emit. The capabilities and restrictions of the technology for oil and gas exploration are described. Recommendations as for methodology of using the technology at various stages of exploration are given. The authors note that the technology applying induced geodynamic noise is promising for searching for oil and gas pools in the basement, explosion-hazardous zones of gas accumulation in the Arctic, and the zones of fluid flow from the Earth's subsurface.

Keywords: seismic survey, direct exploration for hydrocarbon pools, geodynamic noise, pools in basement, accumulation zones in the Arctic, fluid flow from the Earth's subsurface.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-4-83-90

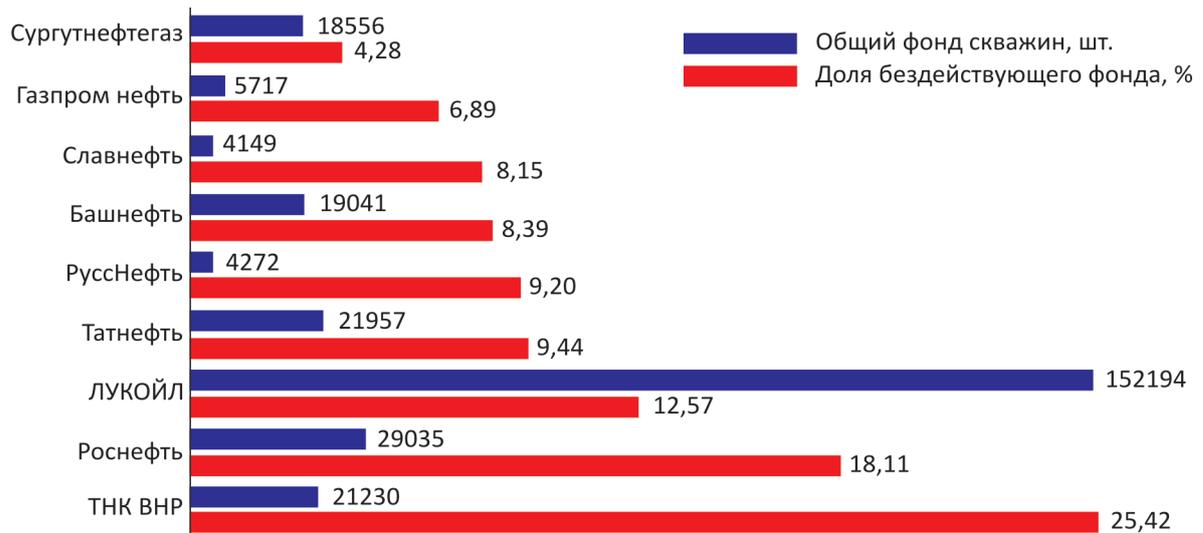
Современная активная сейсморазведка методом общей глубинной точки (МОГТ) основана на явлении отражения упругих колебаний от границ в геологической среде. Она позволяет успешно определять перспективные для скопления нефти и газа ловушки, которые в большинстве случаев «сухие» или заполнены водой. Поэтому успешность открытия залежей углеводородов (УВ) бурением скважин по рекомендациям сейсморазведки МОГТ низкая: не более 30 и 10 % для залежей, расположенных в отложениях платформенного чехла и фундамента соответственно [13, 22]. При бурении разведочных скважин на уже открытых месторождениях УВ в породах платформенного чехла также только одна из трех – пяти пробуренных поисковых скважин оказывается продуктивной, а остальные – «сухими» или малодебитными, т. е. нерентабельными в эксплуатации. Они просто висят мертвым грузом на ведущих российских нефтедобывающих компаниях [6] (см. рисунок).

И так будет до тех пор, пока сейсморазведка не станет решать задачу прямого поиска залежей УВ в геологической среде, что позволит резко сократить огромные средства, которые тратятся сейчас на бурение непродуктивных скважин. Так, в 2013 г. в России было пробурено 6500 поисково-разведочных скважин, из них 3900 оказались непродуктив-

ны, а на их бурение было затрачено около одного 1 трлн руб.

Кинематика и динамика отраженных волн зависят не столько от наличия нефти или газа в ловушке, сколько от структурных и физических параметров в перекрывающих ее пластах. Поэтому прямой поиск залежей УВ возможен на основе только такого явления, которое имеется непосредственно в ловушке при наличии в ней нефти или газа. И такое явление известно: **излучение (эмиссия) залежами УВ геодинамического шума** (повышенного уровня микросейсм). Оно было доказано [8, 14] в 1980-е гг. учеными ИФЗ АН СССР.

В 1990-е гг. было установлено [18, 21, 27], что залежи УВ излучают спонтанный (самопроизвольный) и наведенный внешним воздействием геодинамические шумы, что энергия спонтанного шума в диапазоне частот до 10 Гц над залежью выше энергии фона микросейсм вне залежи, а энергия наведенного шума значительно выше энергии спонтанного. Эти особенности излучаемых шумов инициировали разработку инновационных сейсмических технологий, в которых спонтанный и наведенный геодинамические шумы являются целевыми для прямого поиска залежей УВ. Единного объяснения механизма генерации таких шумов залежами



Доля бездействующих скважин в эксплуатационном фонде крупнейших нефтяных компаний (по данным ЦДУ ТЭК на конец 2009 г.)

УВ пока нет. Создаваемые технологии находятся на стадии развития и внедрения в практику геолого-разведочных работ (ГРП) на нефть и газ. Рассмотрим особенности этих технологий, их современное состояние и возможности решения с их помощью актуальных геолого-геофизических задач.

Технологии с целевым спонтанным геодинамическим шумом

Для прямого поиска залежей УВ по спонтанному шуму в начале 1990-х гг. была создана технология **пассивного варианта акустической низкочастотной разведки** (АНЧАР). Для регистрации таких шумов в ней используются специально разработанные высокочувствительные в диапазоне частот до 10 Гц трехкомпонентные сенсорные модули АНЧАР-Гео и миниатюрная телеметрическая сейсмостанция. Наличие геодинамических шумов определяется по критерию их повышенной амплитуды в полосе частот 2–6 Гц. Количество приемных модулей из-за их уникальности небольшое. Система наблюдения состоит из двух и более пунктов приема (ПП) колебаний с расстоянием между ними 250 м и более. Время регистрации микросейсм при каждом зондировании составляет от 18 до 24 ч при обычной съемке и до 1 мес. при мониторинге. Технология используется для уточнения контуров нефтегазоносности месторождений и точек заложения глубоких скважин. Из-за воздействия на залежи лунно-солнечных гравитационных сил необходима коррекция интенсивности спонтанного шума. Это усложняет систему наблюдения колебаний и интерпретацию такого шума. Поэтому технология пассивного АНЧАР в практике разведки залежей УВ длительное время почти не применялась. Ее авторы развивали и использовали более перспективную для прямого поиска залежей УВ технологию активного варианта АНЧАР, которая будет рассмотрена далее. В последнее время разработаны методика и программа коррекции интенсив-

ности спонтанных шумов за счет вариации лунно-солнечных гравитационных сил, а также программы моделирования таких шумов. Это расширило практику использования технологии пассивного варианта АНЧАР при поиске и мониторинге залежей УВ [2]. При моделировании авторы указанных технологий исходили из того, что геодинамические шумы излучаются непосредственно залежью. Это сформулировано в научном открытии [27] и обосновано в работе [22].

В 2002–2005 гг. была предложена технология низкочастотного сейсмического зондирования (НСЗ) [25], которая по сути представляет собой несколько модернизированную технологию пассивного варианта АНЧАР. В ней для регистрации микросейсм используются стандартные сейсмологические модули, а не АНЧАР-Гео; на этапе интерпретации применяются результаты численного моделирования спонтанного шума, выполняемого на основе гипотезы резонанса низкочастотных продольных волн между дневной поверхностью и этой залежью, а не на основе гипотезы излучения шумов непосредственно залежью, как в технологиях АНЧАР.

Указанные технологии к настоящему времени опробованы на многих площадях Урало-Поволжского региона, причем успешность прогноза нефти и газа, по мнению их авторов, составляет 80 % [1, 25].

Технология с целевым естественно наведенным геодинамическим шумом

Естественными источниками возбуждения колебаний, внешне воздействующих на залежи УВ, являются землетрясения, извержения вулканов, лунно-солнечные гравитационные силы и т. п. Время и интенсивность воздействия на геологическую среду могут быть спрогнозированы только для лунно-солнечных гравитационных сил. Поэтому лишь такой источник естественно наведенного шума можно использовать в качестве целевого для создания соответствующей технологии прямого поис-



ка УВ. Такая технология – **регистрация приливных воздействий на нефтегазовые залежи** (РПВНГЗ) – была предложена в 2011 г. [10].

В ней целевым является естественно наведенный геодинамический шум, излучаемый залежью от воздействия на нее гравитационных сил в моменты совпадения максимального влияния на Землю Луны и Солнца. Интенсивность такого шума значительно выше, чем спонтанного. Методика регистрации колебаний в технологии РПВНГЗ такая же, как и в НСЗ. Кроме микросейсм в технологии РПВНГЗ регистрируются электромагнитное поле Земли и уровень метана и пропана, что обеспечивает более высокие надежность и точность прогноза нефтегазоносности в геологическом разрезе этой технологией, чем при использовании НСЗ и пассивного варианта АНЧАР. До промышленного уровня технология РПВНГЗ пока не доведена, но опробована на четырех нефтегазовых площадях Восточной Сибири, где показала высокую эффективность для прямого обнаружения скоплений УВ даже при эффективной мощности продуктивного пласта до 2–3 м [10, 17].

Технологии с целевым искусственно наведенным геодинамическим шумом

Искусственно наведенный геодинамический шум залежей УВ возбуждается волнами от источников, которые используются в активной сейсморазведке (взрыв, вибратор, удар) и в сейсмоакустике (генераторы колебаний) и у которых контролируются начало и длительность воздействия на геологическую среду, интенсивность и частотный диапазон воздействия. Поэтому технологии с целевым искусственно наведенным шумом более перспективны для прямого поиска залежей УВ, чем технологии пассивного АНЧАР, НСЗ и РПВНГЗ, поскольку соотношение сигнал/помеха на исходных сейсмограммах выше, а времени на получение каждой сейсмограммы требуется меньше. Именно это инициировало оперативное создание в 1990-е гг. технологии активного варианта АНЧАР. С участием ее авторов выполнялись полевое, скважинное и лабораторное изучение закономерных особенностей процесса излучения искусственно наведенного геодинамического шума залежами УВ. Результаты изложены в работах [9, 15, 24]. Приведем их краткую характеристику [24].

1. При внешнем волновом воздействии залежи УВ начинают излучать наведенный геодинамический шум, уровень которого повышен. Время его излучения составляет несколько секунд после прекращения воздействия, а частотный спектр излучаемых сигналов ниже спектра волн внешнего воздействия.

2. Энергия наведенного геодинамического шума чувствительна к типу флюида (нефть, вода, газ) в залежи: она резко возрастает, если объект нефте- или газоносен, и практически неизменна, если он водоносен.

3. Частотный спектр наведенного шума для нефтяной залежи ниже, чем для газовой.

4. Интенсивность наведенного шума прямо пропорциональна интенсивности внешнего воздействия, а длительное внешнее воздействие с подкачкой в среду дополнительной энергии активизирует излучение геодинамического шума и увеличивает его среднюю энергию.

5. Импульсно-волновое внешнее воздействие на залежи УВ эффективнее моногармонического.

Из этих особенностей следуют три важных для методологии прямого поиска УВ выводы.

1. Динамические особенности искусственно наведенного геодинамического шума позволяют не только установить наличие залежей УВ в среде, но и определить тип флюида в них.

2. Частотный состав спектра наведенного шума ниже, чем спектра волн внешнего воздействия, а его аномальные значения могут быть в диапазоне низких (инфразвуковых), средних (сейсмических) и высоких (акустических) частот при соответствующем внешнем волновом воздействии. Высказанное в 1990-е гг. утверждение, что геодинамические шумы имеют аномальную интенсивность лишь в диапазоне 2–6 Гц (феномен АНЧАР), видимо, справедливо лишь для спонтанных и естественно наведенных шумов. Их излучение происходит от воздействия на залежи УВ низкочастотного непрерывного фонового шума сейсмической активности среды и низкочастотных регулярных волн от естественных источников. Что касается феномена АНЧАР (активный вариант), то и здесь вибросейсмические колебания, используемые для воздействия на залежи, низкочастотны. Если же вибросейсмическое воздействие более высокочастотно, то залежи генерируют шумы в среднечастотном диапазоне спектра. Так, при наземном вибросейсмическом воздействии в интервале частот 12–37 Гц и регистрации шумов в стволе скважины на ряде месторождений было установлено, что продуктивным пластам свойственны повышенные значения шума в интервале 17–32 Гц [15, с. 341–348]. Сведения о среднечастотном диапазоне наведенных вибровоздействием шумов приведены в работах [5, 16]. Заметим, что некоторые модели генерации наведенных шумов залежами УВ (капельно-пузырьковая, раскрытие – схлопывание трещин) объясняют понижение спектра частот излучаемых шумов относительно спектра воздействия, но не обязательно до инфразвукового диапазона.

3. Энергия наведенного шума критична к интенсивности, длительности и форме сигналов внешнего волнового воздействия на залежи УВ. Поэтому в практике использования создаваемых технологий важны вид источника и методика его воздействия на среду. Это не исследовалось на практике, хотя, как будет показано далее, эффективность прямого поиска залежей УВ существенно выше при использовании технологий с взрывным источником воз-



буждения колебаний и с многократным волновым воздействием на геологическую среду.

Известны три технологии прямого поиска залежей УВ по искусственно наведенным геодинамическим шумам, различающиеся частотным диапазоном волн внешнего волнового воздействия: 1) активного варианта АНЧАР с низкочастотным, 2) пассивно-активной сейсморазведки (ПАС) МОГТ со среднечастотным, 3) каротажа сейсмоакустической эмиссии (КСАЭ) с высокочастотным диапазоном. По каждой технологии последовательно выполняются три этапа: 1) воздействие на среду упругими колебаниями и регистрация микросейсм до и после воздействия, 2) цифровая обработка с выделением наведенного шума, 3) геологическая интерпретация этого шума.

Технология **активного варианта АНЧАР** основана на излучении в среду колебаний, создаваемых на дневной поверхности сеймовибратором в диапазоне частот 1–20 Гц при длительности сеанса не менее 3 мин. Сигналы искусственно наведенного шума регистрируются той же аппаратурой, что и при пассивном варианте АНЧАР. Система наблюдения единичного зондирования состоит как минимум из двух (при профильной съемке) или четырех (при площадной) ПП, удаленных от пункта возбуждения (ПВ) колебаний на 600–1000 м. Микросейсм регистрируются дважды: в течение 20 мин до возбуждения колебаний и 5 мин после его окончания. Совокупностью таких зондирований осуществляется профильная или площадная съемка с шагом между ПП 250 м и более. Наличие геодинамических шумов определяется по положительной разности амплитуд спектра микросейсм в интервале 2–6 Гц после и до возбуждения колебаний. Технология активного варианта АНЧАР защищена патентом [18] и в практике полевых наблюдений используется с 1994 г. Как уже отмечалось выше, успешность поиска залежей УВ с ее помощью, по мнению ее авторов, близка к 80% [1].

Технология **ПАС МОГТ**, как и предыдущая, используется в наземной сейсморазведке. Она была предложена и запатентована в 2004 г. [20] как технология попутной регистрации и дополнительной обработки микросейсм на сейсмограммах общего пункта взрыва (ОПВ) активной сейсморазведки МОГТ. Такая сейсморазведка по своей сути является пассивно-активной: на каждой трассе ее сейсмограмм регистрируются пассивная (микросейсм) и активная (регулярные волны) составляющие колебаний, при этом до первых вступлений регулярных волн регистрируются только микросейсм.

Воздействие на залежи УВ в технологии ПАС МОГТ осуществляется регулярными волнами, возбуждаемыми наземным взрывным, ударным или вибрационным источником и имеющими частоту до 100 Гц. Регистрация микросейсм производится той же телеметрической аппаратурой и на тех же ПП профильных (2Д) или площадных (3Д) систем

многократных перекрытий, что и при стандартных работах МОГТ, выполняемых для изучения строения среды по отраженным волнам.

В технологии ПАС МОГТ осуществляются комплексная регистрация и интерпретация отраженных от сейсмических границ волн и излучаемых залежами УВ геодинамических шумов. Это позволяет по независимой информации выявлять потенциально перспективные для скопления УВ структурные и литологические ловушки и ранжировать их на продуктивные и непродуктивные.

Возбуждение колебаний и регистрация микросейсм в ПАС МОГТ выполняются по методике многократных перекрытий. Это обуславливает следующие уникальные достоинства данной технологии по сравнению с АНЧАР:

1. Используется многократное внешнее воздействие на каждую залежь УВ сейсмическими волнами, что обеспечивает высокую интенсивность искусственно наведенного геодинамического шума и надежность его регистрации стандартной сейсморазведочной аппаратурой.

2. Осуществляется длительная (до 2–6 ч) регистрация микросейсм на каждом ПП, что дает высокую точность оценки энергетических и амплитудно-частотных характеристик геодинамического шума.

3. Выполняется регистрация геодинамического шума и отраженных волн в одно и то же астрономическое время и на одних и тех же ПП с расстоянием между ними до 50 м, что резко повышает корректность, детальность и точность комплексной геологической интерпретации шумов и отражений.

4. Регистрация геодинамических шумов производится без выполнения специальных полевых работ и соответствующих материальных и финансовых затрат, что делает технологию ПАС МОГТ фактически безальтернативной для прямого поиска залежей УВ на этапах рекогносцировочных и поисковых работ, когда активная сейсморазведка МОГТ является обязательным методом изучения среды.

Таким образом, технология ПАС МОГТ геологически и экономически существенно эффективнее технологии активного варианта АНЧАР.

Важным достоинством технологии ПАС МОГТ является также то, что она применима в том числе и при использовании фондовых материалов МОГТ. Это позволило в 2006–2014 гг. без затрат на полевые работы обработать данные в объеме около 13000 пог. км, полученные на многих площадях Западной и Восточной Сибири, в том числе более чем на 30 известных месторождениях с наличием более 200 продуктивных и «пустых» скважин. В результате было установлено следующее [3, 4, 7]:

1. Залежи УВ при воздействии на них сейсмических волн излучают искусственно наведенный геодинамический шум с аномально повышенными (в 2 раза и более) значениями амплитуды сравнительно с общим фоном микросейсм в диапазоне частот до 30 Гц.



2. Технология позволяет определить контуры залежей УВ, тип их ловушек (антиклинальный, неантиклинальный) и спрогнозировать тип флюида (нефть, газ) в залежи.

3. Эффективность прямого поиска залежей УВ не критична к типу коллектора в залежах УВ и к сложности рельефа дневной поверхности.

4. Эффективность при взрывном источнике возбуждения колебаний существенно выше, чем при ударном и вибрационном.

Очевидно, что успешность прямого поиска залежей УВ технологией ПАС МОГТ может быть еще выше, если регистрировать не только наведенный геодинамический шум, но и другие физические поля. Особого внимания заслуживает регистрация значений наведенного электромагнитного поля, которое возникает в окружающем пространстве при прохождении сейсмической волны через продуктивный коллектор. Поэтому рекомендуется создание бинарной модификации технологии ПАС МОГТ, аналогом которой может являться бинарный сейсмозлектромагнитный метод (метод СЭМ) [6].

Следует отметить, что по наведенным геодинамическим шумам можно успешно решать задачу прямого поиска залежей УВ не только в породах платформенного чехла, но и фундамента, где, по современным представлениям [13, 26], вероятно открытие крупных месторождений нефти и газа в России. Кроме того, по таким шумам можно определять местонахождение взрывоопасных зон скопления газа в криолитозоне Арктики и в угольных бассейнах, а также поиск субвертикальных зон глубинного флюидопотока из недр Земли, которые играют ведущую роль в генерации УВ известных крупных скоплений нефти и газа [23]. Опыта решения этих актуальных геологических задач по технологиями ПАС МОГТ и АНЧАР пока нет, но высокая успешность их решения возможна потому, что экспериментально установлено [5, 12]: вибрационные и взрывные воздействия изменяют фильтрационно-емкостные свойства в залежах и в зонах миграции УВ и повышают уровень излучаемого ими наведенного геодинамического шума.

Технология **КСАЭ** предложена и запатентована в 2000 г. для скважинной промысловой геофизики [19]. По этой технологии на заданной глубине в скважине в течение 10–15 с регистрируются микросейсмсы, затем сейсмоакустическим излучателем на частотах от 10 Гц до 20 кГц производится воздействие на околоскважинное пространство, после чего микросейсмсы регистрируются повторно. Такой цикл повторяется с заданным шагом на других глубинах скважины. Установлено, что максимальные значения амплитуды спектра наведенного геодинамического шума находятся в диапазоне до 4500 Гц, а разность амплитуд спектров микросейсм после и до акустического воздействия является критерием наличия геодинамического шума в интервале разреза скважины [11, 19]. При этом если разность

положительная, то коллектор насыщен нефтью или газом, если отрицательная или нулевая, то водой. По методике однократного воздействия на среду и регистрации микросейсм до и после такого воздействия в каждой точке скважины технология КСАЭ аналогична АНЧАР в активном варианте. Реализация технологии КСАЭ в настоящее время доведена до стадии автоматического получения каротажной диаграммы разности спектральной мощности микросейсм после и до акустического воздействия программно-аппаратурным комплексом акустического воздействия ААВ-400 [11]. Геологическая интерпретация результатов КСАЭ осуществляется в комплексе с данными других каротажной промысловой геофизики. Принципиальное преимущество этой технологии над стандартным комплексом ГИС заключается в том, что она не критична к возможному оттеснению флюида от стенок скважины буровым раствором.

Выводы

В последние 25 лет предложены инновационные сейсмические технологии прямого поиска залежей УВ, основанные на физическом явлении излучения ими спонтанных и наведенных геодинамических шумов. Эти технологии широко опробованы в различных нефтегазоносных регионах России. Они позволяют определять наличие залежей УВ в отложениях платформенного чехла с успешностью до 80 %. Поэтому авторами технологий рекомендуется их широкое использование в практике ГРП на нефть и газ. Учитывая достоинства и ограничения этих технологий на разных стадиях таких работ, целесообразна следующая методология их использования:

– на стадиях *рекогносцировочных и поисковых работ* сейсморазведку выполнять по технологии ПАС МОГТ для картирования перспективных ловушек с одновременным определением наличия или отсутствия в них УВ;

– на стадиях *доразведки и эксплуатации месторождений* сейсморазведку выполнять технологиями АНЧАР, НСЗ или РПВНГЗ для уточнения контура залежей УВ и точек заложения буровых скважин;

– на *всех стадиях ГРП* геофизические исследования в скважинах выполнять с использованием технологии КСАЭ, особенно в тех интервалах, где по данным стандартного комплекса ГИС перспективные пласты интерпретируются как водонасыщенные.

Наиболее эффективными для прямого поиска залежей УВ являются технологии с целевыми искусственно наведенными геодинамическими шумами. Они позволяют успешно решать задачу поиска:

- 1) залежей УВ в отложениях не только платформенного чехла, но и фундамента;
- 2) взрывоопасных зон скопления газа в криолитозоне Арктики и в угольных бассейнах;
- 3) субвертикальных зон глубинного флюидопотока из недр Земли.



Пока нет единой физической модели и теории явления излучения залежами УВ наведенных геодинамических шумов. Рекомендуется продолжить исследования этого явления, а также совершенствование технологий с целевыми искусственно наведенными шумами, особенно в плане комплексной их регистрации с наведенным электромагнитным полем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Арутюнов С. Л.** Коэффициент успешности прогноза нефти и газа по технологии АНЧАР // Технологии сейсморазведки. – 2010. – № 1. – С. 52–57.

2. **Арутюнов С. Л., Сиротинский Ю. В., Сунцов А. Е.** Современное состояние технологии поиска и мониторинга залежей углеводородов АНЧАР. Результаты последних лет // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2014. – № 3. – С. 43–48.

3. **Ведерников Г. В.** Новые возможности изучения геодинамических шумов от нефтегазовых залежей // Геофизика. – 2006. – № 5. – С. 9–12.

4. **Ведерников Г. В., Максимов Л. А.** Технология и опыт прогнозирования залежей УВ по характеристикам микросейсм // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2013. – № 2(44). – С. 37–45.

5. **Геомеханические** и технические основы увеличения нефтеотдачи пластов в виброволновых технологиях / В. Н. Опарин, Б. Ф. Симонов, В. Ф. Юшкин и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 389 с.

6. **Инновационная** геофизика: бинарные технологии прямых поисков месторождений полезных ископаемых / В. П. Мельников, В. И. Лисов, О. С. Брюховецкий, Л. З. Бобровников // Тр. МГРИ-РГГРУ. – Точка доступа: http://mgri-rggru.ru/science/technologies/binary_geophysics/Innovative_geophysics.php.

7. **Максимов Л. А., Ведерников Г. В., Яшков Г. Н.** Геодинамический шум залежей углеводородов и пассивно-активная сейсморазведка МОГТ // Экспозиция Нефть Газ. – 2015. – № 6 (45). – С. 55–57.

8. **О возможности** поиска газовых месторождений по спектральным отношениям амплитуд микросейсмического шума / И. Л. Нерсесов, П. Б. Казик, М. Х. Рахматулин, Ф. С. Трегуб // Докл. АН СССР. – 1990. – Т. 312, № 5. – С. 1084–1086.

9. **Особенности** аккумуляции энергии механических напряжений и аномальное сейсмоакустическое излучение в нефтенасыщенных породах / О. Л. Кузнецов, В. П. Дыбленко, И. А. Чиркин и др. // Геофизика. – 2007. – № 6. – С. 8–15.

10. **Повышение** эффективности прогноза нефтегазовых залежей на основе изучения реакции геофизических и геохимических полей на гравитационные приливы в земной коре / Г. Я. Дидичин, В. Г. Сибгатулин, С. А. Перетокин и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2011. – № 2 (6). – С. 38–39.

11. **Поиск** углеводородов методом вызванной сейсмоакустической эмиссии в скважинах / В. В. Дрягин, О. Л. Кузнецов, А. А. Стародубцев и др. // Акустический журнал. – 2005. – Т. 51. – С. 66–73.

12. **Пространственно-временные** изменения трещиноватости геосреды при внешних воздействиях / Ю. А. Курьянов, В. З. Кокшаров, И. А. Чиркин, А. Ю. Белоносков // Сб. докл. Междунар. науч. конф. «Сейсмические исследования земной коры». – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – С. 124–129.

13. **Рапопорт М. Б.** Зачем нефтяникам сейсмика и где искать нефть // Геофизический вестник ЕАГО. – 2014. – № 1. – С. 38–39.

14. **Садовский М. А., Николаев А. В.** Новые методы сейсмической разведки. Перспективы развития // Вестн. АН СССР. – 1982. – № 1. – С. 82–84.

15. **Сейсмоакустика** пористых и трещиноватых геологических сред. Т. 2. Экспериментальные исследования / О. Л. Кузнецов, И. А. Чиркин, Ю. А. Курьянов и др. – М.: Государственный научный центр Российской Федерации, 2004. – 361 с.

16. **Сердюков С. В., Курленя М. В.** Механизм сейсмического воздействия на нефтепродуктивные пласты // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 11. – С. 1231–1240.

17. **Сибгатулин В. Г., Кабанов А. А.** Реакция нефтегазовых залежей на резонансы гравитационных приливов в земной коре // Экспозиция Нефть Газ. – 2015. – № 6(45). – С. 38–89.

18. **Способ** вибросейсморазведки при поиске нефтегазовых месторождений: патент РФ № 2045079 / С. Л. Арутюнов, Г. Л. Ложкарев, Б. М. Графов и др. – Опубл. 20.03.95 г. Бюл. № 27.

19. **Способ** определения характера насыщенности коллектора: патент РФ № 2187636 / В. В. Дрягин. – Заявл. 21.02.2001. Опубл. 20.08.2002.

20. **Способ** сейсмической разведки: патент РФ № 2263 932 Cl G 01 V/00 Российская Федерация / Г. В. Ведерников. – Заявл. 30.07.2004 г.

21. **Технологии** АНЧАР 10 лет / С. Л. Арутюнов, О. Л. Кузнецов, Н. Н. Востров и др. // Технологии сейсморазведки. – 2004. – № 2. – С. 127–131.

22. **Технология** АНЧАР: о теории метода / О. Л. Кузнецов, Б. М. Графов, А. Е. Сунцов и др. // Геофизика. – 2003. – Спец. выпуск «Технология сейсморазведки – II». – С. 103–107.

23. **Тимурзиев А. И.** Современное состояние практики и методологии поисков нефти – от заблуждений застоя к новому мировоззрению прогресса // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2010. – № 11. – С. 20–31.

24. **Чиркин И. А., Колигаев С. О.** Мониторинг микросейсмической эмиссии – новое направление развития сейсморазведки // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2014. – № 3(49). – С. 6–15.



25. Шабалин Н. Я., Биряльцев Е. В., Рыжов В. А. Пассивная низкочастотная сейсморазведка – мифы и реальность // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2013. – № 2 (44). – С. 46–53.

26. Шустер В. Л. Формирование зон разуплотненных пород в образованиях фундамента и новые технологии сейсморазведки их картирования // Экспозиция Нефть Газ. – 2015. – № 7 (46). – С. 14–16.

27. Явление генерации инфразвуковых волн углеводородной залежью: Научное открытие № 109 / С. Л. Арутюнов, В. Ф. Давыдов, О. Л. Кузнецов и др. – Приоритет от 22.03.97 г.

REFERENCES

1. Arutyunov S.L. [The success coefficient of oil and gas forecast using the ANChAR technology]. *Tekhnologii seysmorazvedki – Seismic Survey Technology*, 2010, no. 1, pp. 52–57. (In Russ.).

2. Arutyunov S.L., Sirotinskiy Yu.V., Suntsov A. E. [Current state of ANChAR, a technology to search and monitor hydrocarbon pools]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Devices and Systems of Exploration Geophysics*, 2014, no. 3(49)1, pp. 43–48. (In Russ.).

3. Vedernikov G. V. [New opportunities to study geodynamic noise emitted by hydrocarbon pools]. *Geofizika – Russian Geophysics*, 2006, no. 5, pp. 9–12. (In Russ.).

4. Vedernikov G.V., Maksimov L.A. [Technology and experience of the hydrocarbon pools prediction based on microseism characteristics]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Devices and Systems of Exploration Geophysics*, 2013, no. 2(44), pp. 37–45. (In Russ.).

5. Oparin V.N., Simonov B. F., Yushkin V. F., et al. *Geomekhanicheskie i tekhnicheskie osnovy uvelicheniya nefteotdachi plastov v vibrovolnovykh tekhnologiyakh* [Geomechanical and technical basis of increasing oil recovery in vibrowave technology]. Novosibirsk, 2010, SB RAS Publ. 389 p. (In Russ.).

6. Mel'nikov V.P., Lisov V.I., Bryukhovetskiy O. S., Bobrovnikov L.Z. *Innovatsionnaya geofizika: binarnye tekhnologii pryamykh poiskov mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Innovative geophysics: binary technology of direct search for mineral deposits]. *MGRI-RSGPU Proceeding*. Available at: http://mgri-rgg.ru/science/technologies/binary_geophysics/Innovative_geophysics.php. (In Russ.).

7. Maksimov L.A., Vedernikov G. V., Yashkov G. N. [Geodynamical noise of hydrocarbon pools and passive and active seismic CDPM]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz – Exposition Oil & Gas*, 2015, no. 6(45), pp. 55–57. (In Russ.).

8. Nersesov I.L., Kazik P. B., Rakhmatulin M. Kh., Tregub F. S. *O vozmozhnosti poiska gazovykh mestorozhdeniy po spektral'nykh otnosheniyam amplitud mikro-seysmicheskogo shuma* [The possibility to search for gas fields based on spectral ratios of microseismic noise amplitudes]. *DAN USSR – Proceeding of AS USSR*, 1990, vol. 312, no. 5, pp. 1084–1086. (In Russ.).

9. Kuznetsov O.L., Dyblenko V.P., Chirkin I. A., et al. [Mechanical stress energy accumulation and abnormal seismoacoustic emission of oil-saturated rocks]. *Geofizika – Russian Geophysics*, 2007, no. 6, pp. 8–15. (In Russ.).

10. Didichin G. Ya., Sibgatulin V. G., Peretokin S. A., et al. [Better efficiency in forecasting oil-and-gas pools based on responses of geophysical and geochemical fields to gravitation tides in the Earth's crust]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2011, no. 2(6), pp. 38–39. (In Russ.).

11. Dryagin V.V., Kuznetsov O. L., Starodubtsev A. A. [Search for Hydrocarbons by the Method of Induced Seismoacoustic Emission in Wells]. *Akusticheskii zhurnal – Acoustical Journal*, 2005, vol. 51(s), pp. 66–73. (In Russ.).

12. Kuryanov Yu.A., Koksharov V. Z., Chirkin I. A., Belonosov A. Yu. [Space-time changes in geoenvironment fracturing under external influence]. *Sb. dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Seysmicheskie issledovaniya zemnoy kory»* [Proc. of International Scientific Conference “Seismic Survey of the Earth's Crust”]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2004, pp. 124–129. (In Russ.).

13. Rapoport M.B. [Why do oilmen need seismic and where to look for oil]. *Geofizicheskiy vestnik EAGO – Geophysical Journal of EAGO*, 2014, no. 1, pp. 38–39. (In Russ.).

14. Sadovskiy M.A., Nikolaev A. V., Sadovskiy M. A. [New methods of seismic survey. Development prospects]. *Vestnik AN SSSR – Bulletin of AS USSR*, 1982, no. 1, pp. 82–84. (In Russ.).

15. Kuznetsov O.L., Chirkin I. A., Kur'yanov Yu.A., et al. *Seysmoakustika poristyykh i treshchinovatykh geologicheskikh sred. Ekperimental'nye issledovaniya* [Seismoacoustics of porous and fractured geological environments. Experimental studies]. State Research Center of the Russian Federation. Moscow, 2004, vol. 2, pp. 361. (In Russ.).

16. Serdyukov S.V., Kurlenya M. V. [Seismic stimulation of oil reservoirs]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2007, vol. 48, no. 11, pp. 1231–1240. (In Russ.).

17. Sibgatulin V.G., Kabanov A. A. [Impact of resonance of gravitation tides in the Earth's crust on petroleum accumulations]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz – Exposition Oil & Gas*, 2015, no. 6(45), pp. 38–89. (In Russ.).

18. Arutyunov S.L., Lozhkarev G. L., Grafov B. M., et al. *Sposob vibroseysmorazvedki pri poiske neftegazovykh mestorozhdeniy* [Vibroseismic method to search for petroleum fields]. RF Patent No. 2045079, 1995. (In Russ.).

19. Dryagin V. V. *Sposob opredeleniya kharaktera nasyshchennosti kollektora* [A method to determine a reservoir saturation type]. RF Patent No. 2187636. 2000.23. (In Russ.).

20. Vedernikov G. V. *Sposob seysmicheskoy razvedki* [The seismic survey method]. RF Patent no. 2263



932 SI G 01 V/00 Russian federation. Application of 30 July 2004. (In Russ.).

21. Arutyunov S.L., Kuznetsov O.L., Vostrov N.N., et al. [The 10th anniversary of the ANChAR technology]. *Tekhnologii seysmorazvedki – Seismic Survey Technology*, 2004, no. 2, pp. 127–131. (In Russ.).

22. Kuznetsov O.L., Grafov B.M., Suntsov A.E., et al. [The ANChAR technology: about the method theory]. *Geofizika – Russian Geophysics*, 2003, Special issue “Seismic Survey Technology II”, pp. 103–107. (In Russ.).

23. Timurzиеv A.I. [Contemporary state of practical activity and methodology of oil prospecting – from mistakes of stagnation to new outlook of progress]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2010, no. 11, pp. 20–31. (In Russ.).

24. Chirkin I.A., Koligaev S.O. [Microseismic emission monitoring – a new trend in seismic survey]. *Pri-*

bory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Devices and Systems of Exploration Geophysics, 2014, no. 3(49), pp. 6–15. (In Russ.).

25. Shabalin N.Ya., Biryaltsev E.V., Ryzhov V.A. [Passive low-frequency seismic survey – myths and reality]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Devices and Systems of Exploration Geophysics*, 2013, no. 2(44), pp. 46–53. (In Russ.).

26. Shuster V.L. [Formation of zones of loose rocks in basement formations and new seismic survey technologies of their mapping]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz – Exposition Oil & Gas*, 2015, no. 7(46), pp. 14–16. (In Russ.).

27. Arutyunov S.L., Davydov V.F., Kuznetsov O.L., et al. *Yavlenie generatsii infrazvukovykh voln uglevodородной залеzh'yu* [Generation of infrasonic waves by a hydrocarbon pool]. Scientific Discovery No. 109. Priority as of 22 March 1997. (In Russ.).

© А. В. Жарков, Л. А. Максимов, Г. Н. Яшков, 2017