

УДК 534.222

ПОДВОДНО-ПОДЛЕДНЫЙ ПОИСК МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЯХ

С.А. БАХАРЕВ¹, В.Б. КАЗАКОВ²¹РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ
НАУК²НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИСиС»

Анализируются современное состояние проблемы поиска месторождений углеводородов в северных и арктических шельфах Российской Федерации. Показаны недостатки и ограничения традиционных методов сейсморазведки 2D и 3D. Обосновывается необходимость более широкого применения инновационных технологий, максимально отвечающих критерию «эффективность–стоимость–экологичность». В частности, предлагается использовать: подводный геофизический комплекс на базе подводной лодки с ядерной энергетической установкой, автономных и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов, а также автономных донных гидроакустических станций, установленных на морском дне сеткой или вдоль профиля; широкополосные (2–3 октавы, высоконаправленные (единицы градусов), малогабаритные (способные к размещению на подводных аппаратах) параметрические излучающие и параметрические приемные адаптивные антенны, разработанные автором. Приводятся некоторые результаты успешного применения разработанных автором инновационных методов и средств в условиях подводного носителя.

Ключевые слова: полезные ископаемые, углеводороды, морской шельф, северные и арктические акватории, подводная робототехника, нелинейная гидроакустика, параметрические антенны.

Одной из наиболее важных тенденций в развитии современной нефте-газо-добывающей промышленности мира является увеличение добычи углеводородов (УВ) из морских месторождений. В настоящее время доля морской добычи УВ в зарубежных странах составляет 35% – по нефти и 31,5% – по газу [3, 10, 11, 14]. При этом именно на шельфе отмечается прирост запасов УВ, а также открываются их крупные месторождения.

UNDERWATER-ICE HYDROCARBON EXPLORATION IN NORTHERN AND ARCTIC WATER AREA

S.A. BAKHAREV, V.B. KAZAKOV

Analyzes the current state of the problem of search of hydrocarbons in Northern and Arctic shelf of the Russian Federation. The drawbacks and limitations of traditional methods of seismic exploration 2D and 3D. The necessity of wider application of innovative technologies that best meet the criterion of «efficiency–cost–environmental». In particular, proposed use: underwater geophysical complex on the basis of the submarine with a nuclear power system, Autonomous and remotely operated underwater vehicles and Autonomous benthic hydroacoustic stations installed on the sea bottom by a grid or along profile; broadband (2-3 octaves, highly directional (units of degrees), small (able to be deployed on underwater vehicles) emitting parametric and parametric adaptive receiving antenna developed by the author. Some results of successful applications developed by the author innovative methods and means in conditions of the underwater medium.

KEYWORDS: minerals, hydrocarbons, offshore, Northern and Arctic areas, underwater robotics, nonlinear underwater acoustics, parametric antenna.

Современные методы поисков и разведки УВ месторождений основываются на представлении изучаемого геолого-геофизического разреза в виде следующей физической модели: геолого-геофизический разрез, составленный осадочными породами, рассматривается как многослойная пористая мембрана сложного строения. Пласты этой мембраны заполнены флюидами различного состава и разной концентрации. При этом преобладающая часть насыщена

солевыми растворами с концентрациями 1–300 г/л, и лишь незначительная часть заполнена рассеянными УВ, которые, замещая солевые растворы в достаточно хорошо проницаемых коллекторах, образуют промышленные УВ залежи.

Известно [2], что в морских сейсмических исследованиях пневмоизлучатели (ПИ) и сейсмокосы (ССК) буксируются за научно-исследовательским судном (НИС) вдоль линии профиля. В глубоководных районах НИС движется с постоянной скоростью, излучая и принимая сигналы. В мелководных районах ССК буксируются НИС над дном в режиме с остановками (старт-стопный режим) для уменьшения влияния низкочастотных (НЧ) подводных акустических и гидродинамических помех. При этом основными недостатками сейсморазведки 2D и трехмерной сейсморазведки 3D (4D) являются:

- использование косвенной информации, причем даже не в поле отраженных акустических волн – наиболее информативных, а в поле преломленных волн;

- низкая достоверность полученной информации из-за использования ненаправленного излучателя с дискретными во времени и неуправляемыми параметрами сигналами, т.е. из-за использования импульсных сигналов случайной формы – типа взрыв;

- низкая достоверность полученной информации из-за использования дискретных в пространстве приемных антенн (приемники сведены в группы и т.д.), обладающих относительно низкой направленностью и имеющих относительно узкий (от 5 до 2000 Гц) диапазон рабочих частот;

- низкая производительность поиска из-за низкой (2–3 узл.) скорости буксировки ССК;

- низкая достоверность способа из-за сложности в интерпретации полученных в нелинейных средах (морская вода, слой осадков и т.д.) результатов и др.

В последние годы наряду с буксируемыми ССК начинают более широко применяться донные ССК, а также автономные донные сейсмические станции (АДСС), которые в комплексе с другими геофизическими системами могут использоваться при проведении региональных работ на море по сети государственных опорных профилей.

Таким образом, методы сейсморазведки 2D, 3D (4D), являясь наиболее информативными и производительными способами исследований [2], к сожалению, не обеспечивают надежного определения месторождений УВ залежей, поскольку являются косвенными и основываются, в сущности, на поисках структур-ловушек, в которых с не слишком большой вероятностью, могут находиться УВ залежи. Особенно это характерно для регионов с достаточно высокой сейсмической активностью (Северный Каспий, Мексиканский залив и др.), как в далеком прошлом, так и в настоящее время.

По мнению специалистов, в настоящее время, в лучшем случае, только одна из 3–4 пробуренных по-

исковых скважин на шельфе является продуктивной, а среднестатистическое значение для шельфа Вьетнама за 30 лет составило всего 15% [3, 10, 11]. Это наиболее критично при бурении разведочных скважин глубоководных морских акваториях. Например, средние затраты в сутки на глубоководное бурение в Мексиканском заливе в 2008 г. составляли 600 000 дол. США, в то время как для мелководного (до 200 м) бурения на шельфе Вьетнама – 450 000 дол. США [3, 10, 11].

Таким образом, нетрудно оценить финансово-временные потери, которые несут нефтегазовые компании из-за недостоверных или ошибочных прогнозов, основанных на применении стандартных методов геофизической разведки. Поэтому снижение рисков бурения пустых скважин становится особенно актуальным в условиях глобального финансово-экономического кризиса.

Выход из этой ситуации видится, не только (и не столько) в разработке новых методик обработки регистрируемых сигналов и комплексирования данных сейсморазведки с данными других методов: геохимии, гравиметрии и т.д., к чему призывают отечественные и зарубежные специалисты, но и в поиске эффектов, непосредственно связанных с флюидонасыщенностью УВ-пласта, и не имеющих иной интерпретации [14], а также: в более широком применении методов и средств нелинейной гидроакустики для высоконаправленного (единицы градусов) излучения и приема широкополосных (2–3 октавы) гидроакустических сигналов с помощью антенн, обладающих малыми волновыми размерами [4, 10, 11]; в применении подводных геофизических судов (ПГФС) с телеуправляемыми (ТНПА) и автономными (АНПА) необитаемыми подводными аппаратами и автономными донными гидроакустическими станциями (АДГАС), установленными на дне сеткой или вдоль профиля [3, 8, 9].

В 80-е годы XX столетия в Институте Физики Земли АН СССР обосновали, что реальная геологическая среда обладает сейсмической эмиссией волн механических колебаний в инфразвуковом диапазоне (ИЗД) частот над месторождением УВ.

Следует также отметить, что еще несколько раньше военные гидроакустики при гидроакустической калибровке оперативно важных районов в Северо-Западной части Тихого океана и тестировании новых методов дальнего обнаружения иностранных подводных лодок с использованием взрывных источников сигналов и глубоководных донных акустических станций (ГДАС) периодически регистрировали шумовые гидроакустические сигналы в диапазоне частот от долей Гц до 7–8 Гц, природу которых на тот момент невозможно было объяснить.

В 1990–1992 г. группа российских ученых Российской академии естественных наук (РАЕН) под научным руководством О.Л. Кузнецова и специалистов

ОАО «Газпрома», проводя инициативные исследования, экспериментально доказала существование спонтанного и вынужденного индуцированного эффектов эмиссии волн механических колебаний в ИЗД частот над УВ месторождением [14, 15].

При возбуждении УВ залежи внешним низкочастотным полем упругих колебаний естественного («пассивный» АНЧАР), или искусственного происхождения («активный» АНЧАР, с использованием излучателей механических колебаний) в полосе частот эффективного взаимодействия поля упругих колебаний с УВ веществом, заключенным в матрице породы-коллектора, УВ залежь переходит в режим генерации собственных инфразвуковых волн. Причем, режим генерации сохраняется некоторое время после прекращения действия внешнего источника возбуждения.

За прошедшие почти 25 лет по технологии АНЧАР исследованы сотни поисковых объектов, до-разведано и открыто более 20 месторождений УВ в России и за рубежом. При этом стоимость услуг составляет ~ 30–50% от стоимости сейсморазведки 2D, на глубинах исследований до 7–8 км [14].

Основная трудность заключается в практической реализации методов АНЧАР в сложных морских условиях: на глубоководной (более 400 м) акватории, при неблагоприятных погодных-климатических условиях (развитое ветровое волнение и т.д.) и т.д. При этом обработка информации и интерпретация полученных результатов не вызывают дополнительных сложностей, так как идентичны таковым для наземной геологоразведки. Более того, в определенных условиях (более низкий уровень окружающих шумов, чем при наземной геологоразведке и т.д.) достоверность прогнозирования УВ насыщенности пластов выше именно в морской геологоразведке.

Однако крайне высокие временные издержки, связанные с необходимостью выполнения поисковых и разведывательных работ в суровых климатических условиях Арктики (сплошной лед в течение 9–10 месяцев, айсберги и т.д.), при работе надводных геофизических судов могут принять неприемлемый характер. При этом разведка, добыча и последующая транспортировка нефти и газа в суровых климатических условиях, требуют не только колоссальных инвестиций (по оценкам специалистов компании «Роснефть» для освоения российской части шельфа до 2050 г. потребуются около 2,5 трлн дол. США), но и принципиально новых технологий. Новизна состоит в том, что разведка и добыча уходят все дальше от берега, а воды Северного Ледовитого океана опасны для бурения из-за крайне низких температур, долгих полярных ночей, густых туманов и мощных ветров, достигающих ураганной силы. Повсеместно распространенный ледовый покров, сохраняющийся от восьми до девяти месяцев в году, может помешать продвижению спасательных судов в случае нерегулируемого выброса из

скважины или пожара на платформе. Кроме того, от этой хрупкой естественной среды обитания зависит жизнь многих видов водных (китов и др.) и наземных (белых медведей и др.) млекопитающих.

Например, только для обеспечения ввода в эксплуатацию Штокмановского, Киринского, Южно-Киринского и Мынгинского газоконденсатных месторождений, а также Приразломного и Долгинского нефтяных месторождений необходимо до 2020 г. пробурить свыше 130 эксплуатационных скважин.

Освоение ресурсов шельфа связано с многочисленными рисками, спектр которых очень широк. Реализация шельфовых проектов добычи, хранения, переработки и транспортировки углеводородов является одним из наиболее опасных видов человеческой деятельности. Каждый из элементов морской системы объектов разведки, добычи и транспортировки углеводородов в соответствии с международной классификацией относится к опасным и особо опасным объектам. Это понятие применимо как к морским платформам, заводам по производству сжиженного природного газа, компрессорным станциям, так и к погрузочно-разгрузочным терминалам, танкерам-газовозам и другим объектам нефтегазового комплекса.

С другой стороны, принадлежность дна океана (особенно в условиях Арктики) становится новой геополитической задачей России. Нет сомнения в том, что она станет еще более актуальной в ближайшее десятилетие, и может быть успешно решена только при наличии передовых технологий и техники погружения, в том числе на предельные глубины океана.

Безусловно, «вход в океан» представляется делом трудоемким и технически сложным. Ведь сам по себе этот шаг – есть вхождение человека в новую среду обитания, в чем-то подобную по сложности освоению космического пространства. В этой связи особую актуальность приобретает развитие работ в области специального судостроения, включая ПГФС с ядерной (ЯГЭУ) и с анаэробной (АГЭУ) главной энергетической установкой, обитаемые и необитаемые (автономные, телесуправляемые и буксируемые) подводные аппараты, автономные гидроакустические станции (размещенные на дне или в толще воды) и др.

Говоря о подводно-подледной геофизике для северных и арктических районов Мирового океана необходимо выделить три принципиальных направления:

– первое направление связано с использованием надводного геофизического судна ледокольного типа. При этом предлагается использовать абсолютно стандартные методы и средства надводной морской сейсморазведки 2D и 3D [2, 16];

– второе направление связано с использованием дрейфующих льдин с вертикально (или горизонтально) установленными излучающими и приемными акустическими системами сейсмического диапазона частот [12];

– третье направление связано с использованием гражданских подводных (ГПА) лодок [1, 3, 10, 11, 5–7, 13]: либо экзотических ГПА, но с традиционными методами и средствами надводной морской геофизики, а также с судном обеспечения ледокольного типа [13], либо серийно выпускаемых для ВМФ и модернизированных определенным образом, но с принципиально другими (по мнению автора, более эффективными, чем существующие) активными и пассивными средствами морской геофизики [1, 3, 10, 11, 5–7]. При этом необходимо признать приоритет четырех организаций: ООО «КИТ» (г. Москва), университет «Дубна» (Московская обл., г. Дубна) и ЦНИИ «Курс» (г. Москва) – с автором данной работы, а также ОАО ЦКБ «Лазурит» (г. Н. Новгород), в предложении использовать ГПА в интересах проведения подводно-подледных геофизических исследований в северных и арктических акваториях.

Сущность различных способов морской разведки, основанных на использовании надводных геофизических судов ледокольного типа, в общем случае, заключается в том, что на поверхности моря, покрытой льдом, с помощью ледокола прокладывают канал, очищают его ото льда, и буксируют в нем сейсмическую косу [15]. Данные способы чрезвычайно затратны, не позволяют исследовать большие площади, а также делают практически невозможной буксировку нескольких сейсмических кос в полосе шире канала чистой воды, что необходимо по технологии 3D-сейсморазведки.

Сущность различных способов морской разведки, основанных на использовании дрейфующих льдин [12], в общем случае, заключается в том, что с льдины вертикально или (и) горизонтально устанавливаются излучающие и приемные акустические системы сейсмического диапазона частот. Однако данные способы не обеспечивают требуемую точность даже для сейсморазведки 2D, не говоря уже о 3D.

В то же время известно [3] применение на военноморских флотах ведущих государств ПА с одной или двумя гибкими протяженными буксируемыми антеннами (ГПБА) для обнаружения иностранных подводных лодок в океане. Теоретически, если заменить ГПБА на одну ССК и буксировать за ПА сейсмический излучатель, то можно реализовать региональную технологию сейсморазведки 2D. Однако ее эффективность будет несоизмеримо мала по сравнению с затратами. При этом совершенно невозможно реализовать детальную технологию сейсморазведки 3D.

Для традиционной архитектуры построения ПА характерны постановка и выборка ГПБА через стабилизаторы кормовой оконечности. Однако для трехмерной детальной геофизической съемки (сейсморазведка 3D) УВ месторождений с требуемым качеством необходимо большое количество ССК (от 6 до 20 шт.), для размещения которых на ПА с традиционной

архитектурой просто нет места в кормовой оконечности.

В экзотическом варианте [13] для этих целей специалистами ООО «КИТ» предлагается использовать междубортное пространство по длине ПГФС, где антенные лебедки будут расположены вдоль борта ПГФС. Это предопределяет выпуск антенн с борта и буксировку антенн в режиме движения ПГФС лагом (боком) с оптимальной для геофизики скоростью (5–6 км/ч), а удержание ПГФС на заданной глубине и переход по глубине осуществляются за счет вертикальных движителей. При этом наличие специализированного ледокольного судна обеспечения в составе технологического комплекса позволяет реализовать точную навигационную привязку обследуемых участков морского дна, постоянную двухстороннюю бесперебойную связь с ПГФС в подводно-подледном положении, постоянную готовность оказания экстренной помощи ПГФС в нештатных и аварийных ситуациях.

Недостатком данного способа, кроме необходимости использования обеспечивающего ледокола, является и то, что для его реализации требуется радикальная переделка ПА (ПГФС должно иметь симметричный обтекаемый профиль обшивки как в вертикальной плоскости нос-корма, так и в перпендикулярной бортовой плоскости), что существенно снижает экономичность способа, а длительное рабочее перемещение ПГФС лагом (если оно вообще возможно) предъявляет повышенные требования к устойчивости судна. Кроме того, в процессе буксировки протяженные ССК подвержены колебаниям, вызываемым гидродинамическими силами, что приводит к возникновению фазовых ошибок и появлению дополнительных шумов обтекания. Все это снижает качество принимаемых сигналов.

Сотрудниками кафедры «Общая и прикладная геофизика» университета «Дубна» и ЦНИИ «Курс», а также ОАО ЦКБ «Лазурит» предложены экономически более эффективные и более технологичные способы проведения геофизической разведки в морских акваториях подо льдом, обеспечивающего более высокое качество получаемого геологического материала. Это касается как самого ПГФС, так и источников и приемников упругих колебаний сейсмического диапазона частот.

Новым по отношению к предыдущему способу [13], способе [1] является то, что облучение донных отложений осуществляют в надир непосредственно с движущегося в маршевом режиме ПГФС с помощью излучателя, выполненного в виде, по крайней мере, одного источника когерентного широкополосного низкочастотного излучения с мощностью порядка 1 кВт и установленного стационарно на ПГФС. Прием отраженного излучения осуществляют акустическими приемниками, жестко закрепленными на ПГФС,

после чего обработку принятых сигналов проводят с привлечением корреляционного метода.

В первом частном случае реализации способа целесообразно дно акватории облучать в надир (по-арабски назир, «напротив») с помощью излучателя, выполненного в виде источника когерентного широкополосного низкочастотного акустического излучения с линейной частотной модуляцией в полосе частот 60–120 Гц.

Во втором частном случае реализации способа прием отраженного от донных отложений излучения целесообразно осуществлять акустическими приемниками в виде линейных антенн из цифровых гидрофонов, расположенных вдоль обоих бортов ПГФС.

Специалистами университета «Дубна», ЦНИИ «Курс» под научным руководством С.А. Бахарева к 2010 году были разработаны;

- концепция подводно-подледного поиска УВ залежей в северных и арктических морях с использованием ПГФС, АНПА, ТНПА и АГАС [3, 8, 9];

- принципиально новые методы и средства высоконаправленного излучения и приема широкополосных отраженных (в том числе, строго назад), преломленных и рассеянных (в том числе вперед) акустических волн с использованием адаптивных параметрических излучающих (АПИА) и адаптивных параметрических приемных (АППА) антенн [4, 10, 11];

- новые методы поиска углеводородов с использованием ПГФС [5–7].

Принципиальными отличиями нашей модели развития подводно-подледной геофизики являются следующие аспекты [3, 8, 9]:

- для условий Арктики необходимо использовать ПГФС с ЯГЭУ. Однако для других районов Мирового океана также целесообразно использовать ПГФС, но, для минимизации финансовых затрат и обеспечения экологической безопасности, меньших габаритов и с анаэробной главной энергетической установкой (АГЭУ);

- часть антенных устройств необходимо не только (и не столько) буксировать за ПГФС, но и устанавливать их непосредственно на борту ПГФС;

- необходимо использовать не только (и не столько) линейные излучающие и линейные приемные акустические антенны (обладающие значительным КПД и высокой чувствительностью, соответственно), но и адаптивные параметрические излучающие (АПИА) и адаптивные параметрические приемные (АППА) антенны, обладающие высокой (единицы градусов) направленностью, большой широкополосностью (2–3 октавы) и незначительными (способны к размещению на ТНПА и АНПА, соответственно) весогабаритными характеристиками;

- необходимо детальную сейсморазведку 3D (4D) реализовывать не с использованием большого (больше двух) количества ССК (что не только существенно

ограничивает в маневренность ПГФС, но и значительно снижает безопасность подводного мореплавания), а с использованием буксируемых (БНПА), телеуправляемых (ТПНА) и автономных (АНПА) необитаемых подводных аппаратов, а также автономных (размещенных на дне или в толще воды) гидроакустических станций (АГАС) с АППА;

- необходимо адаптировать к морским условиям и более широко использовать прямые геофизические методы поиска УВ залежей, разработанные под научным руководством О.А. Кузнецова;

- целесообразно ПГФС с БНПА, ТНПА, АНПА и АГАС использовать не только в интересах морской геофизики, но и в интересах подводного наблюдения. Например, для подводного наблюдения, контроля качества работы скважин, выявления предвестников землетрясений и т.д.

Говоря о принципиально новых методах и средствах формирования (при излучении) и обработки (при приеме) широкополосных (2–3 октавы) отраженных (в том числе, строго назад), преломленных и рассеянных (в том числе, вперед) акустических волн с использованием линейных и параметрических (АПИА и АППА) антенн, необходимо отметить следующее:

- вместо ненаправленных, импульсных, со случайной формой, крупногабаритных источников сигналов использовать высоконаправленные (единицы градусов), непрерывные (или квазинепрерывные), с заданной формой и малогабаритные источники лоцирующих сигналов сейсмического (инфразвукового) и звукового диапазонов частот;

- вместо слабонаправленных, узкополосных, крупногабаритных приемников используются высоконаправленные (единицы градусов), широкополосные (2–3 октавы) и малогабаритные приемники эхосигналов (отраженных, преломленных и рассеянных) сейсмического (инфразвукового) и звукового диапазонов частот;

- вместо пространственно разнесенных друг от друга и буксируемых за геофизическим судном источников сигналов и приемников эхосигналов используют источники сигналов и приемники эхосигналов, размещенные как в одной пространственной точке, так и в разных пространственных точках;

- источники сигналов и приемники эхосигналов располагают не в приповерхностном, а в придонном слое воды, и минимизируют потери акустической энергии;

- обеспечивают прием не только отраженных назад, преломленных назад и рассеянных назад эхосигналов, но и строго обратно и вперед;

- в интересах повышения эффективности формирования лоцирующего сигнала – при помощи АПИА, а также эффективности приема отраженного (рассеянного и преломленного) сигнала – при по-

мощи АППА, используются акустические свойства (резонансная частота, сила слоя, пространственное положение и т.д.) природных рассеивателей (биологических, воздушно-пузырьковых и т.д.) звука;

– в интересах повышения эффективности применения АППА предлагается многоканальная пространственная (с учетом многолучевого распространения акустической волны) и многоканальная частотная (с учетом резонансных частот природных рассеивателей звука) с последующим когерентным накоплением сигнала и т.д.

Таким образом, экономическая эффективность и технологичность разработанного способа подводно-подледной геофизики с использованием ПГФС с ЯГЭУ обеспечиваются за счет возможности использования апробированных базовых решений ПА (с необходимыми доработками), которая перемещается в обычном (маршевом) режиме. Возможность использования апробированных базовых решений ПА обеспечивается за счет жесткого крепления излучающих и приемных систем непосредственно на ПГФС, а также возможной буксировки за ПГФС не более двух антенных устройств. В результате чего не страдает гидродинамика ПГФС, его маневренность и безопасность эксплуатации. Все это важно для обеспечения автономной работы ПГФС и проведения сейсморазведки 3D путем последовательной записи набора сейсмических трасс.

Учитывая определенный консерватизм (приверженность к ССК и т.д.) морских геофизиков, сформулируем один из разработанных вариантов подводно-подледного поиска УВ залежи в условиях сплошного ледового покрова следующим образом.

На первом этапе геофизических исследований реализуют вариант сейсморазведки «2D» с использованием движущегося в непосредственной близости от дна ПГФС с ЯГЭУ и с источником (водяная пушка, спаркер и т.д.) упругих колебаний на борту и одной буксируемой ССК. Для примера на рис. 1 иллюстрируется разработанный вариант подводной сейсморазведки по технологии «2D» с использованием ПГФС и одной ССК.

Другими вариантами региональных исследований по технологии «2D» являются:

– использование ПГФС с ЯГЭУ, БНПА с излучающей (линейной и параметрической) широкополосной акустической системой и одной ССК;

– использование ПГФС с ЯГЭУ, а также бортовых широкополосных (линейных и параметрических) излучающих (расположенных в кормовой части ПГФС) акустических систем и бортовых широкополосных (линейных и параметрических) приемных (расположенных в носовой части ПГФС и по бортам ПГФС) акустических систем;

– использование ПГФС с ЯГЭУ с буксируемой излучающей и с буксируемой приемной линиями электроразведки и др.

С.А. БАХАРЕВ, В.Б. КАЗАКОВ
ПОДВОДНО-ПОДЛЕДНЫЙ ПОИСК
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ
В СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

На втором этапе геофизических исследований (сейсморазведка «3D») осуществляют поиск УВ ловушек с использованием разнесенных в пространстве:

– широкополосных (линейных и параметрических) излучающих антенн, расположенных на: ПГФС (кормовая оконечность), и (или) на БНПА, и (или) на ТНПА;

– широкополосных (линейных и параметрических) приемных антенн, расположенных на ПГФС (носовая оконечность и борта), и (или) на БНПА, и (или) на ТНПА, или (и) на АНПА, и (или) на АГАС (донных или установленных в толще воды).

Для примера на рис. 2 иллюстрируется разработанный вариант подводной сейсморазведки по технологии «3D» с использованием ПГФС с ЯГЭУ.

Как видно из рис. 2, в качестве источника упругих колебания сейсмического диапазона частот (5 Гц – 200 Гц) используются излучающая широкополосная система (водяная пушка, спаркер и др.), или широкополосная АПИА, расположенная в кормовой части ПГФС, а в качестве приемника упругих колебаний сейсмического диапазона частот используется ССК, или широкополосная АППА, расположенная в носовой части и по бортам ПГФС, а также широкополосные (линейные и параметрические) приемники, установленные на БНПА, или ТНПА, или АНПА и АГАС.

На третьем этапе прямыми геофизическими методами осуществляют предварительную оценку запасов углеводородов (промысловые и непромысловые) в выявленной на втором этапе геофизических условий УВ ловушке. При этом в случае использования информации об индуцированном (наведенном) микросейсмоизлучении УВ залежи используют весь комплект оборудования второго этапа геофизических

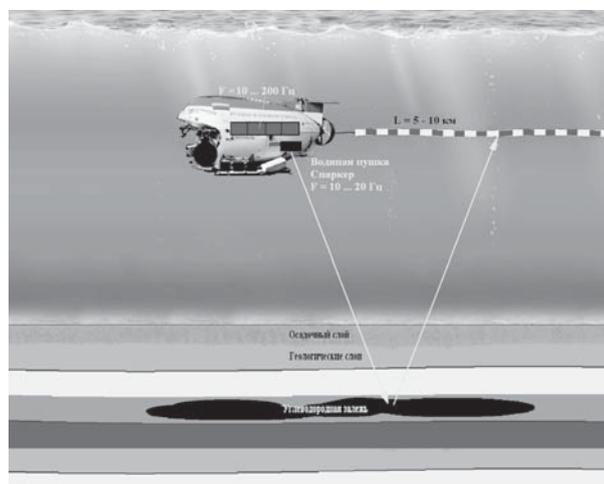


РИС. 1.

Вариант подводной реализации сейсморазведки по технологии «2D» с использованием подводного геофизического судна

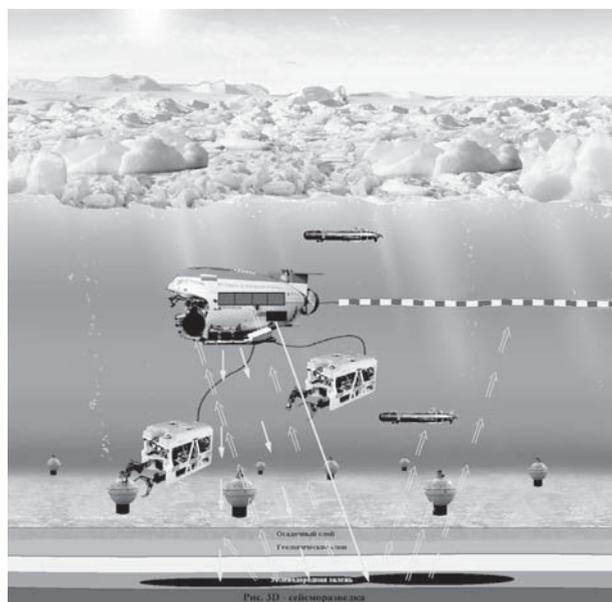


РИС. 2.

Вариант подводной реализации сейсморазведки по технологии «3D» с использованием подводного геофизического судна



РИС. 3.

Вариант реализации прямого геофизического метода поисков углеводородов с использованием подводного геофизического судна

исследований; в случае использования информации о собственном микросейсмоизлучении УВ залежи также используют весь комплект оборудования второго этапа геофизических исследований, за исключением бортовой излучающей системы.

Для примера на рис. 3 иллюстрируется вариант реализации прямого геофизического метода поисков и разведки УВ залежей по ее собственным и индуцированным микросейсмоизлучениям в условиях Арктики с использованием только ПГФС с ЯГЭУ.

Другими вариантами подводно-подледной реализации прямого геофизического метода поисков углеводородов с использованием ПГФС с ЯГЭУ являются:

- использование ПГФС и АГАС, установленных на дне сеткой или по профилю. При этом ТНПА ПГФС применяют для постановки и демонтажа АГАС;

- использование ПГФС и АНПА, «зависающих» в воде в заданном районе поиска и др.

Для примера на рис. 4 представлены спектрограммы высокочастотного (ВЧ) сигнала акустической накачки (подсветки) 16кГц, зарегистрированные на входе многоканального блока обработки сигналов при наличии (рис. 4 А и рис. 4 Б) и отсутствии (рис. 4 В и рис. 4 Г) источника НЧ сигналов по соответствующему направлению (сверху, снизу, слева и справа) от ПГФС (на базе ПЛ ВМФ) с ЯГЭУ. Как видно из рис. 4в, при отсутствии источника НЧ полезного сигнала (микросейсмоизлучения УВ залежи и т.д.) уровень амплитудной модуляции ВЧ сигнала акустической подсветки не превышает 1–3%, в то время как при наличии источника НЧ полезного сигнала в данном направлении

уровень амплитудной модуляции возрастает более чем на порядок (рис. 4 А, 4 Б). При этом амплитуды комбинационных частот (15,55 кГц и 16,45 кГц) на рис. 4 Б существенно (амплитуда разностной частоты более чем на 10 дБ превышает уровень суммарной частоты) различны, что говорит о нелинейном взаимодействии ВЧ сигнала акустической подсветки и НЧ полезного сигнала в неоднородной водной среде, а не в тракте обработки сигналов (когда боковые компоненты имеют одинаковую амплитуду).

Для примера на рис. 5 представлены спектрограммы сигналов и шумов УВ залежи на лицензионном участке «Магадан-1» (рис. 5 А) и иностранной ПЛ (рис. 5 Б), зарегистрированные с помощью АППА в диапазонах частот от 0 до 20 Гц (рис. 5 А) и от 0 до 100 Гц (рис. 5 Б).

Как видно из рис. 5 А с помощью АППА удалось зарегистрировать сигналы и шумы УВ залежи на лицензионном участке «Магадан-1» в диапазоне частот от 0,45 до 14,2 Гц, что существенно ниже диапазона рабочих частот (10 Гц – 200 Гц) классической сейсмоакустики.

Для примера на рис. 6 представлены сонограммы сигналов и шумов УВ залежи, зарегистрированных в диапазоне частот: от долей Гц до 10 Гц на лицензионном участке «Магадан-1» с помощью АППА, установленной на отечественной ПЛ.

Как видно из рис. 6 А и Б с помощью АППА удалось зарегистрировать не только отдельные дискретные составляющие (ДС) в диапазоне частот от долей Гц до 8 Гц, но и спектральные максимумы в диапазоне частот от долей Гц до 3 Гц, что существенно ниже диа-

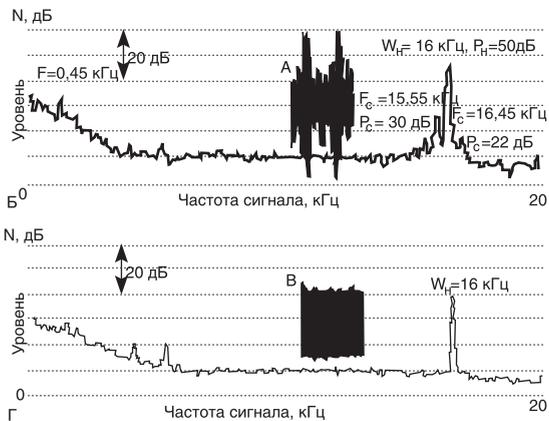


Рис. 4.

Спектрограммы сигналов, зарегистрированные на входе многоканального блока обработки

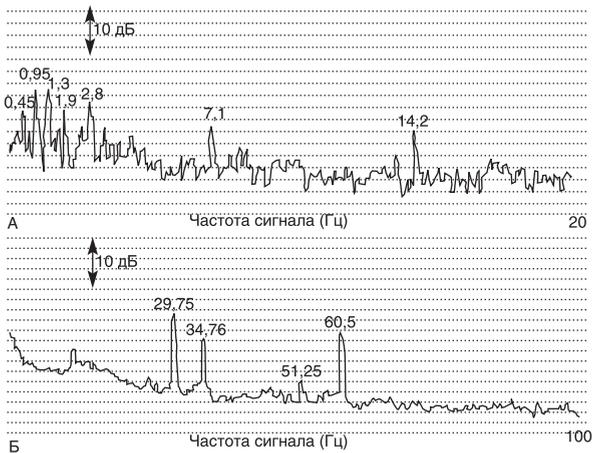


Рис. 5.

Спектрограммы шумов различных подводных объектов

пазона рабочих частот (10 Гц–200 Гц) современной сейсмоакустики.

Грубая экономическая оценка показывает, что при стоимости ПГФС с ЯГЭУ ~800 млн дол. США, стоимости ПГФС с АГЭУ ~400 млн дол. США, 10 месячных периодах их эксплуатации, соответственно, в северных (арктических) морях и в других районах Мирового океана, соответственно, при достоверности правильного прогнозирования наличия УВ в соответствующих геологических структурах ~85% их окупаемость будет обеспечена в течение первых 3–4 лет эксплуатации. При этом ПГФС данного типа могут быть с успехом применены не только в интересах подводно-подледных геолого-геофизических исследований, но и для мониторинга подводной обстановки в районах проведения работ, а также (при необходимости) физической защиты (без применения оружия) объектов энергетического комплекса РФ.

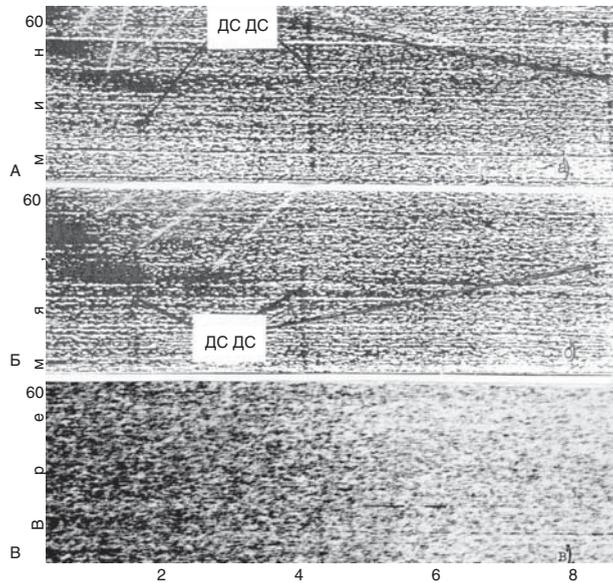


Рис. 6.

Сонограммы сигналов УВ залежей

Таким образом, предлагаемая нами методика развития морской подводной геофизики принципиально отличается (по типу ПГФС, по типу использования излучающих и приемных антенных устройств, по обработке и интерпретации полученных данных, по применению подводных робототехнических средств и т.д.) от других методик.

В заключении кратко ответим на три главных вопроса, на которые нужно в конечном итоге ответить в процессе поисков и разведки УВ месторождений:

– где УВ ловушка (соответствующая геолого-геофизическая структура)? Ответ на этот вопрос дают технологии сейсморазведки 2D и 3D, реализуемые в северных и арктических морях с использованием ПГФС (ТНПА, АНТПА и АДГАС, а также: с АПИА, размещенными на ПГФС и ТНПА; с АППА, размещенными на ПГФС, АНПА и АДГАС [5–7];

– есть ли в УВ ловушке углеводороды? Ответ на этот вопрос дают прямые геофизические методы поисков УВ залежей, впервые предложенные отечественными специалистами под научным руководством О.Л. Кузнецова [14, 15];

– где должен быть расположен забой скважины в продуктивном пласте, чтобы обеспечить максимальный приток углеводородов? Это также даст возможность выбрать тип скважины: вертикальную, наклонно-направленную или с горизонтальным окончанием, что оптимизирует затраты на поиски и разработку месторождений углеводородного сырья. Ответ на этот вопрос дают новые методы получения и обработки сейсмоакустической информации о трещиноватости геосреды, также впервые предложенные группой отечественных специалистов под научным руководством О.Л. Кузнецова [14, 15].

ЛИТЕРАТУРА

1. АВЕРБАХ В.С., КОРОТИН П.И., ЛЕБЕДЕВ А.В. и др. Способ проведения подводно-подледной геофизической разведки с использованием подводного судна. Патент РФ № 2457515 от 08.11.2010, опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.
2. АКИ К., РИЧАРДС П. Количественная сейсмология. Теория и методы. Т. 1. М.: Мир. 1983.
3. БАХАРЕВ С.А. К вопросу концепции построения подводного многофункционального судна // Геофизический вестник. 2010. № 8. С. 9–12.
4. БАХАРЕВ С.А. Способ высоконаправленного излучения и приема широкополосных гидро-акустических сигналов. Патент РФ № 2247409 от 21.07.2003, опубл. 27.02.2005, Бюл. № 6.
5. БАХАРЕВ С.А. Способ поиска месторождения полезных ископаемых с использованием подводного геофизического судна. Патент РФ № 2424538 от 11.01.2010, опубл. 20.07.2011. Бюл. № 20.
6. БАХАРЕВ С.А. Способ прямого поиска углеводородов. Патент РФ № 2458363 от 16.03.2011, опубл. 10.08.2013. Бюл. № 22.
7. БАХАРЕВ С.А. Способ поиска месторождения полезных ископаемых с помощью подводного геофизического судна. Патент РФ № 2480793 от 01.06.2011, опубл. 27.04.2013. Бюл. № 12.
8. БАХАРЕВ С.А., ДРЕМЛЮГА Г.П., РОГОЖНИКОВ А.В. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов в процессе изучения Мирового океана // Морская радиоэлектроника. 2010. № 1. С. 80–86.
9. БАХАРЕВ С.А., ДРЕМЛЮГА Г.П., РОГОЖНИКОВ А.В. Использование телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов в процессе изучения Мирового океана // Морская радиоэлектроника. 2011. № 3. С. 58–63.
10. БАХАРЕВ С.А., ЗАВАЛКО Е.В., РОГОЖНИКОВ А.В. Использование широкополосных приемных акустических антенн в морской геофизике // Геофизика. 2010. № 1. С. 45–51.
11. БАХАРЕВ С.А., ЗАВАЛКО Е.В., РОГОЖНИКОВ А.В. Использование широкополосных излучающих акустических антенн в морской геофизике // Геофизика. 2010. № 6. С. 33–38.
12. КАШИК А.С., КЕВИЛИДИ В.Х., ЗЕМЦОВ Д.П. и др. Способ морской сейсмической разведки. Патент РФ № 2076342 от 27.10.1992, опубл. 27.03.1997. Бюл. № 5.
13. КРАВЧЕНКО В.В., ИЛЮШКИНА А.П., МЕРКЛИН А.Р. и др. Способ проведения подводно-подледной геофизической разведки и технологический комплекс для его осуществления. Патент РФ № 2388022 от 10.09.2008 г., опубл. 22.04.2010 г. Бюл. № 7.
14. КУЗНЕЦОВ О.Л., АРУТЮНОВ С.Л., ДВОРНИКОВ В.В. и др. Опыт микросейсмического мониторинга залежей нефти и газа // Технологии сейсморазведки. 2007. № 4. С. 32–35.
15. КУЗНЕЦОВ О.Л., АРУТЮНОВ С.Л., КУРЬЯНОВ Ю.А. и др. О применении стационарных донных сейсмоакустических систем в геофизических исследованиях и разработке нефтегазовых месторождений на шельфе // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Научное и техническое обеспечение исследований и освоения шельфа Северного Ледовитого океана», Новосибирск. 2010.
16. МЕДВЕДЕВ А.М. Комплекс для буксировки забортного сейсмооборудования. Патент РФ № 2317572 от 19.05.2006 г., опубл. 20.02.2008 г. Бюл. № 2.

Бахарев Сергей Алексеевич,
д.т.н., профессор, действительный член РАЕН

✉ e-mail: taf@list.ru

Казakov Владимир Борисович,
к.т.н. профессор кафедры геотехнологии освоения недр
Национального исследовательского технологического
университета «МИСиС»

✉ 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 6,
тел.: +7 (499) 230-94-66, e-mail: idos2016@mail.ru