

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-284-295

SUBSEA SURVEY TECHNOLOGY OF ABANDONED EXPLORATORY WELLS ON THE EXAMPLE OF THE DOLGINSKY OIL FIELD

G. I. Khurmatova¹, I. V. Zudin^{2,3}, N. V. Shabalin¹

¹ — Limited Liability Company «Lomonosov Moscow State University Marine Research Center», Moscow, Russian Federation

² — Limited Liability Company « Gazprom Neft Shelf », St. Petersburg, Russian Federation

³ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russian Federation

Development of hydrocarbon deposits on the Arctic coasts and offshore territory is an important and relevant direction of the Oil & Gas industry. A large number of exploratory wells of various types have been drilled in the Russian waters. Some of them were subsequently eliminated or canned. In this regard, one of the most urgent tasks is to study the state of canned or abandoned wells, aimed at ensuring industrial safety, the protection of the subsoil and the environment. In accordance with the requirements of license obligations and regulatory documents of the Russian Federation, it is necessary to monitor the state of liquidated and canned exploratory wells in order to obtain the information on the presence or absence of hydrocarbon leaks from the wells, intercolumn manifestations, griffins, extraneous man-made objects, as well as to assess the background level of the environment state in the area of the wells orifices. The methodology and the main results of the survey of the orifices of liquidated exploratory wells at the Dolginsky oil field located on the continental shelf of the Barents Sea to ensure the industrial safety, protection of the subsoil and the environment of studied region are discussed in the paper. The methodology of the work, which includes navigation and hydrographic support of the work (sonar and magnetometric survey of the seabed), and the main technical parameters of the ship's instrumentation complex are described. The complex of underwater technical works including a visual inspection of the seabed using a remotely operated underwater vehicle, geoecological testing of environmental components, as well as hydrometeorological studies (determination of hydrochemical indicators of the sea water state, indicators of contamination and physico-chemical parameters of bottom sediments, qualitative and quantitative characteristics of hydrobionts, hydrological observations) is also considered. It is noted that the use of the technologies of underwater survey of abandoned exploratory wells at the example of the Dolginsky oil field allows us to effectively solve the tasks in order to prevent and minimize the consequences of possible natural and man-made disasters.

Keywords: wells survey, underwater survey, GVI survey, abandoned and canned wells, geo-ecology, subsea positioning, side scan sonar, magnetometric survey, remotely operated underwater vehicle.

For citation:

Khurmatova, Gulnara I., Ivan V. Zudin, and Nikolay V. Shabalin. "Subsea survey technology of abandoned exploratory wells on the example of the Dolginsky oil field." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.2 (2019): 284–295. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-284-295.

УДК 626.021

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДВОДНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ УСТЬЕВ РАЗВЕДОЧНЫХ ЛИКВИДИРОВАННЫХ СКВАЖИН НА ПРИМЕРЕ ДОЛГИНСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Г. И. Хурматова¹, И. В. Зудин^{2,3}, Н. В. Шабалин¹

¹ — ООО «Центр морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова», Москва, Российская Федерация

² — ООО «Газпром-нефть шельф», Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Освоение месторождений углеводородного сырья на арктических побережьях и континентальном шельфе является важным и актуальным направлением нефтегазовой отрасли. На акватории России пробурено большое количество разведочных скважин разного типа. Часть разведочных скважин впоследствии была ликвидирована или консервирована. В связи с этим одной из наиболее актуальных задач являются исследования состояния законсервированных или ликвидированных скважин, направленные на обеспечение промышленной безопасности объекта, охраны недр и окружающей среды. В соответствии с требованиями лицензионных обязательств и нормативных документов Российской Федерации необходимо вести контроль за состоянием ликвидированных и законсервированных устьев разведочных скважин с целью получения информации о наличии или отсутствии: утечек углеводородов из устьев скважин, межколонных проявлений, грифонов, посторонних техногенных предметов, а также производить оценку фоновое уровня состояния окружающей среды в районе расположения устьев скважин. В статье рассматривается методика и основные результаты комплекса работ по обследованию устьев ликвидированных разведочных скважин на Долгинском нефтяном месторождении, расположенном на континентальном шельфе Баренцева моря, с целью обеспечения промышленной безопасности объекта, охраны недр и окружающей среды исследуемого региона. Описывается методика проведения работ, включающая в себя навигационно-гидрографическое обеспечение работ (гидролокационная и магнитометрическая съемка морского дна) и основные технические параметры судового приборного комплекса. Рассмотрен также комплекс подводно-технических работ, включающий визуальный осмотр дна с помощью телеуправляемого необитаемого подводного аппарата, экологическое опробование компонентов природной среды, а также гидрометеорологические исследования (определение гидрохимических показателей состояния морских вод, показателей загрязненности и физико-химических параметров донных отложений, качественных и количественных характеристик гидробионтов, гидрологические наблюдения). Отмечается, что использование данных технологий подводного обследования ликвидированных устьев разведочных скважин на примере Долгинского нефтяного месторождения позволяет эффективно решать поставленные задачи с целью предупреждения и минимизации последствий возможных природных и техногенных катастроф.

Ключевые слова: обследование устьев скважин, подводное обследование, ликвидированные и законсервированные скважины, геоэкология, подводная навигация, гидролокационная и магнитометрическая съемка, телеуправляемый подводный аппарат.

Для цитирования:

Хурматова Г. И. Технология подводного обследования устьев разведочных ликвидированных скважин на примере Долгинского нефтяного месторождения / Г. И. Хурматова, И. В. Зудин, Н. В. Шабалин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 284–295. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-284-295.

Введение (Introduction)

Арктический шельф представляет собой уникальную кладовую природных ресурсов. Для разведки нефтегазовых месторождений и оценки запасов бурятся специальные разведочные скважины. Бурение разведочных скважин, как правило, выполняется с самоподъемных плавучих буровых установок (СПБУ), полупогружных буровых установок (ППБУ), а также буровых судов (БС). После выполнения поставленных задач данные скважины консервируют либо ликвидируют. Недропользователь, в соответствии с требованиями лицензионных обязательств и нормативных документов РФ, обязан вести контроль за состоянием ликвидированных и законсервированных разведочных скважин. Обследования должны выполняться не реже одного раза в год (для скважин, законсервированных в процессе бурения, после окончания бурения и в процессе эксплуатации, если в них установлены цементные мосты) и одного раза в два года (для скважин, ликвидированных после окончания бурения)^{1,2}.

Результаты подводного обследования скважин содержат информацию о наличии или отсутствии утечек углеводородов в районе устьев скважин, а также наличии или отсутствии посторонних

¹ Приказ Ростехнадзора от 12.03.2013 № 101 (ред. от 12.01.2015) «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности “Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности”». Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146173/ (дата обращения: 01.02.2019).

² Приказ Ростехнадзора от 18.03.2014 № 105 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности “Правила безопасности морских объектов нефтегазового комплекса”» (зарегистр. в Минюсте России 17.09.2014 № 34077). Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169076/ (дата обращения: 01.02.2019).

техногенных предметов, представляющих опасность для судоходства. Для получения данной информации, как правило, выполняется визуальное обследование скважин, видео- и акустическая фиксация рельефа участков дна акватории в месте расположения разведочных скважин. Указанные работы могут выполняться как с использованием водолазной службы, так и с помощью необитаемых подводных аппаратов (НПА) [1], которые активно применяются при обустройстве морских нефтегазовых месторождений [2]. Следует отметить, что поскольку на глубинах свыше 30 м использование водолазных специалистов перестает быть коммерчески и технически обоснованным [3], возникает задача о правильности выбора НПА исходя из условий окружающей среды и поставленных задач. Существует классификация подводных аппаратов, приведенная в Международном стандарте IMCA R 018 [4], а также русском нормативном документе ГОСТ Р 56960–2016. Необитаемые аппараты, в первую очередь, подразделяются на телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА), которые посредством кабель-троса получают электропитание и сигналы управления, и автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), функционирующие самостоятельно и способные перемещаться, погружаться и всплывать самостоятельно по заданной программе или по командам телеметрии [5]. Обследование устьев скважин следует выполнять с помощью ТНПА осмотрового класса, способного при необходимости нести целевую полезную нагрузку. Дополнительно аппарат может быть оснащен осмотровым модулем, модулем очистки подводных объектов, средствами отбора проб донных осадков, придонной воды и газов [6].

Важной частью комплекса выполняемых работ при подводном обследовании является оценка изменения состояния окружающей среды (уровня загрязнения воды и донных отложений в районе устья разведочной скважины) по отношению к исходному состоянию водного объекта до начала хозяйственной деятельности. Исследование природных процессов в экосистемах осуществляется методами мониторинга. Технология мониторинга определяет качество получаемых им данных, а также их экологическую значимость [7], [8]. Для этого выполняются следующие виды работ:

- инженерно-экологические работы: отбор проб воды, грунта и газа (в случае обнаружения утечек на участке расположения скважины), а также их специализированный лабораторный анализ;
- инженерно-гидрометеорологические работы: измерение температуры и солености вод, скорости и направления течений, прозрачности морской воды и т. д.

В случае отсутствия точной информации о местоположении скважин необходимо выполнить их поиск и последующую планово-высотную привязку. Это связано с тем, что многие скважины были пробурены несколько десятилетий тому назад, при этом общий уровень геодезического обеспечения в то время не позволял определять координаты этих объектов с необходимой точностью. Также известны случаи, когда определение координат скважин ранее выполнялось с применением различного оборудования и методик, в результате чего появлялась неоднозначность в координатах местоположения скважины. Таким образом, вопрос поиска и определения координат ранее заглушенных скважин приобретает особое значение [9]. При поиске скважин могут быть применены следующие технологии:

- батиметрическая съемка с применением многолучевого эхолота (МЛЭ);
- гидролокационная съемка с применением гидролокатора бокового обзора (ГБО);
- магнитометрическая съемка.

При консервации скважин, как правило, остается устьевое оборудование, выступающее над морским дном, в то время как при их ликвидации скважины полностью срезаются на уровне дна или ниже. В случае наличия на поверхности дна следов скважины наиболее эффективными методами определения ее положения будут являться батиметрическая съемка с применением МЛЭ и гидролокационная съемка с применением ГБО, при этом батиметрическая съемка обеспечивает наиболее точное определение планово-высотных координат скважин. В случае, если устье скважины занесено грунтом и на поверхности дна отсутствуют какие-либо следы ее наличия, положение скважины определяется при помощи магнитометрической съемки. Магнитометрическая съемка широко применяется при поиске каких-либо металлических объектов на морском дне, в частности при поиске взрывоопасных предметов, оставшихся со времен Великой Отечественной войны [10].

В данной работе рассмотрена методика и результаты обследования устьев разведочных скважин на Долгинском нефтяном месторождении, выполненных ООО «Центр морских исследований МГУ имени М. В. Ломоносова», (ЦМИ МГУ) в августе 2018 г. для нужд ООО «Газпром нефть шельф». Долгинское нефтяное месторождение расположено в юго-восточной части континентального шельфа Баренцева моря, в 120 км к югу от архипелага Новая Земля и в 110 км к северу от материка. Месторождение было открыто в 1999 г., глубина моря в этом районе составляет 35–55 м. В настоящее время на месторождении пробурено четыре разведочных скважины, три из которых находятся в северной части месторождения и одна в южной. Схема расположения разведочных скважин Долгинского нефтяного месторождения представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения разведочных скважин Долгинского нефтяного месторождения

Целью работы являлся сбор и оценка информации о состоянии ликвидированных устьев разведочных скважин:

- наличие или отсутствие утечек углеводородов в районе устьев разведочных скважин;
- наличие или отсутствие посторонних предметов на морском дне в районе устьев разведочных скважин;
- оценка состояния уровня загрязнения воды и донных отложений, отобранных в районе устьев разведочных скважин;
- уточнение местоположения устьев разведочных скважин.

Для получения соответствующей информации были выполнены следующие работы:

- локализация устьев ликвидированных скважин геофизическими методами (магнитометрическая и гидролокационная съемка);
- подводное визуальное обследование скважин;
- инженерно-экологические работы;
- инженерно-гидрометеорологические работы¹.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Навигационно-гидрографическое обеспечение работ. Одной из основных задач навигационно-гидрографического обеспечения (НГО) проводимых работ являлись обнаружение и идентификация скважин в районах указанных координат.

¹ Технический отчет по проекту «Выполнение геотехнических работ на Долгинском нефтяном месторождении». М.: ООО «ЦМИ МГУ», 2018.

Как показывает опыт предыдущих работ, эффективное обнаружение законсервированных и во многих случаях погребенных под слоем осадков устьев скважин возможно по следующим классификационным признакам:

- наличие на дне очевидно выраженных следов проведения бурения буровых и консервационных работ (возвышение приустьевого оборудования над дном моря, следы установки защитного бетонного каркаса на устье и др.);
- локальное изменение морского дна в районе выхода скважины в виде углубления (кратера) или небольшого холма, образовавшегося при заносе устья скважины осадками;
- локальное нарушение структуры поддонного слоя осадков, образовавшееся в процессе проведения бурения;
- газопроявление, образовавшееся в результате некачественного проведения ликвидационных работ;
- локальная магнитная аномалия за счет оставшихся в скважине металлических конструкций;
- возможные изменения в химическом составе проб воды и донных осадков;
- наличие в районе расположения устья скважины конструкций и техногенных объектов.

Для обнаружения и идентификации скважин на Долгинском нефтяном месторождении в местах расположения устьев скважин, принятых по материалам предыдущих обследований, проводились обследования морского дна дистанционными методами, включающими:

- гидролокационную съемку дна интерферометрическим гидролокатором бокового обзора (ИГБО) модели H4i3 (частота 300 кГц);
- магнитометрическую съемку морским магнитометром SEAPOS-1 (рис. 2).

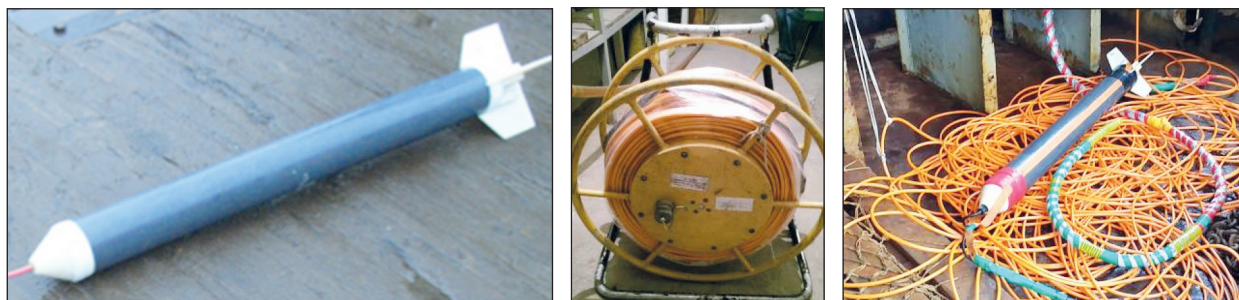


Рис. 2. Морской магнитометр SEAPOS-1

Гидролокационная съемка выполнялась с борта исследовательского судна. Интерферометрический гидролокатор бокового обзора был закреплен на штанге, расположенной по правому борту исследовательского судна, длина штанги составила 6 м, прибор был заглублен на 2,5 м от уровня моря. Параметры регистрации, выбранные для ИГБО H4i3, приведены в таблице. (Работы проводились при скорости судна 3–5 уз).

Параметры регистрации гидролокатором бокового обзора

Параметр	Значение
Рабочая частота, кГц	300
Наклонная дальность, м	120
Формат записи данных	.HSX

Магнитометрическая съемка выполнялась подводным буксируемым магнитометром. Крепление буксирного конца кабеля осуществлялось в корме по центру. В результате выполнения опытно методических работ был выработан скоростной режим и высота буксирования подводного аппарата надо дном при оптимальном удалении от кормы судна, составляющем не менее трех длин корпуса судна, вычислено отстояние буксируемого аппарата от точки подвеса. При длине вытравленного троса, равной 135 м, отстояние составило 128 м. Пересчет координат буксируемой гондолы магнитометра производился программным пакетом QINSy 8.1.

Подводно-технические работы. По результатам гидролокационной и магнитометрической съемки были определены места предположительного расположения устьев скважин, в которых был выполнен визуальный осмотр при помощи ТНПА RB Mirage Mini фирмы «ROVBUILDER». Высокоточное позиционирование судна и ТНПА осуществлялось в режиме реального времени в электронной гидрографической информационной системе QINSy 8.1 при помощи спутникового навигационного комплекса GNSS C-NAV 3050, гирокомпаса Meridian SGBrown и гидроакустической навигационной системы с ультракороткой базой (ГАНС УКБ) Tritech Micron MicroNav.

В период проведения работ приемником C-NAV 3050 осуществлялся прием спутниковых дифференциальных поправок через геостационарные спутники Inmarsat, обеспечивающие дециметровую точность позиционирования судна. Гидроакустические навигационные системы, предназначенные для позиционирования объектов в водной толще, разделяют следующим образом: по принципу действия на системы с длинной базой (ГАНС ДБ) и по принципу действия системы с ультракороткой базой (ГАНС УКБ). Эти системы составляют основу навигационных комплексов подавляющего числа автономных и телеуправляемых аппаратов, созданных в различное время в различных странах [10].

Позиционирование ТНПА в данной работе выполнялось при помощи ГАНС УКБ «Tritech Micron MicroNav». Эта система состоит из приемоизлучающей антенны, расположенной на судне и маяка-ответчика, закрепленного на ТНПА. Маяк-ответчик — это преобразователь на судне, излучающий направленный акустический импульс, который достигая маяка, служит запускающим сигналом к излучению, маяк генерирует акустическую посылку, которую фиксирует судовая гидроакустическая антенна. Ввиду расширения диаграммы направленности и продолжительного распространения сигнала, данный способ предназначен для небольших наклонных дальностей [12]. Приемоизлучающая антенна при помощи акустических сигналов определяет пеленг и дистанцию до маяка-ответчика, после чего в программном обеспечении происходит расчет геодезических координат ТНПА относительно судна. Для повышения точности подводного позиционирования перед началом работ в районе расположения скважин выполнялись измерения скорости распространения звука в воде. Результатом данных измерений является график зависимости скорости звука от глубины, который учитывается в программном обеспечении ГАНС УКБ при расчете траектории акустического луча [13]. Наличие навигационных данных о координатах ТНПА на поверхности и в толще воды позволяет автоматизировать режимы движения аппарата к цели с известными географическими координатами [14], [15]. Использование данной технологии для подводного позиционирования объектов имеет широкое применение.

Процедура визуального обследования скважины заключалась в локализации и осмотре устья скважины, после чего выполнялось обследование прилегающей части дна на наличие посторонних объектов и газопроявлений в радиусе не менее 20 м от устья. Изображения с цифровых камер ТНПА приведены на рис. 3.

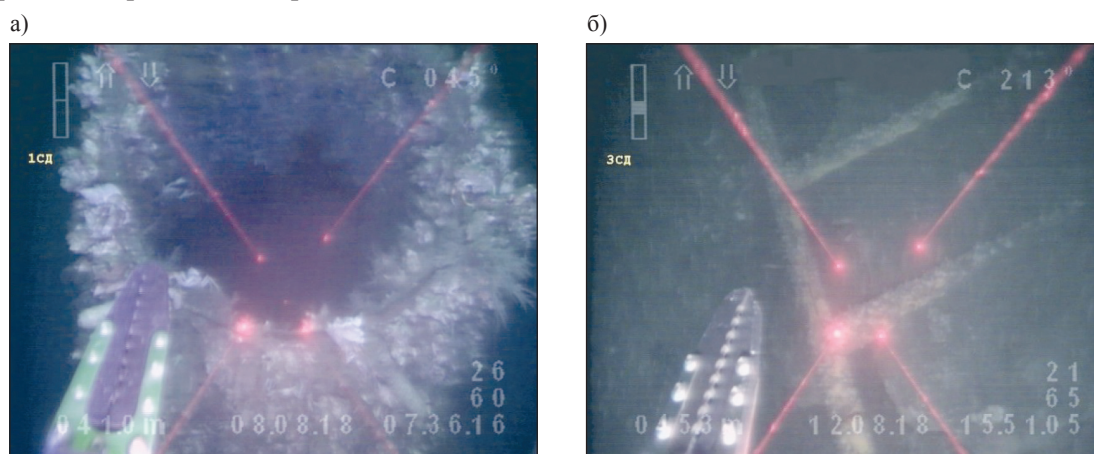


Рис. 3. Устьевое оборудование скважины (а) и металлическая конструкция в районе обследования устья скважины (б)

Пилотирование ТНПА осуществлялось по системе параллельных галсов, расстояние между которыми зависело от прямой видимости под водой и выбиралось таким образом, чтобы обеспечить полное визуальное покрытие площади обследования. Установленный на ТНПА гидролокатор кругового обзора способствовал поиску объектов на морском дне. Траектория движения ТНПА во время работ в режиме реального времени контролировалась в электронной гидрографической информационной системе QINSy, тем самым помогая оператору ориентировать ТНПА относительно судна и подводных целей.

Экологическое опробование компонентов природной среды и гидрометеорологические исследования. Для оценки изменения состояния окружающей среды в районе расположения разведочных скважин были выполнены следующие виды работ:

1. Определение гидрохимических показателей состояния морских вод с последующим анализом в судовой лаборатории и специализированной стационарной лаборатории. Пробы морской воды отбирались пластиковыми батометрами Нискина с двух горизонтов: поверхностного и придонного. Отбор, консервация и хранение проб воды осуществлялись в соответствии с документом¹, а также рекомендациями аккредитованной лаборатории.

2. Определение показателей загрязненности и физико-химических параметров донных отложений с последующим их анализом в специализированной стационарной лаборатории.

3. Пробы донных отложений на определение содержания загрязняющих веществ, радионуклидов и физико-химических характеристик отбирались на каждой станции мониторинга из поверхностного слоя осадков при помощи дночерпателя «Океан-0,1» производства ООО «Арктиктрал» в соответствии с требованиями документов (РД 52.10.803-2013, РД 52.10.775-2013, ГОСТ 17.1.5.01-80, ред. от 01.03.1981 и ISO 5667-12:2017).

4. Определение качественных и количественных характеристик макрозообентоса, фитопланктона и фотосинтетических пигментов, а также зоопланктона.

5. Отбор проб гидробионтов был выполнен дночерпателем, системой батометров и планктонных сетей. Пробы были зафиксированы и переданы для обработки в стационарную гидробиологическую лабораторию ООО «ЦМИ МГУ» для последующего анализа.

6. Гидрологические наблюдения, включающие измерение температуры и солености вод, скорости и направления течений, прозрачности морской воды.

7. Измерение температуры и солености вод в исследуемой акватории выполнялось при помощи зонда YSI CastAway-CTD. Исследование скорости и направления течений проводилось при помощи акустического доплеровского профилографа измерителя течений TRDI WHS 300. Для измерения прозрачности морской воды использовался диск Секки.

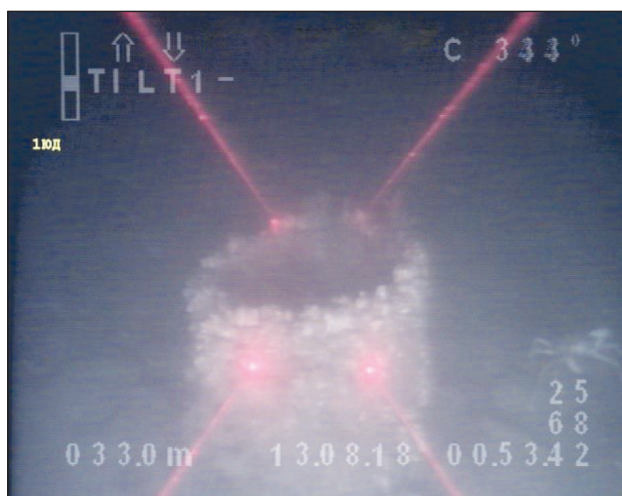
Результаты (Results)

На основе результатов выполненных работ можно сделать следующие выводы. Применение гидролокационной и магнитометрической съемки являются эффективными методами для локализации скважин. По данным магнитометрической съемки хорошо прослеживаются магнитные аномалии на всех участках, подтверждающие наличие ликвидированных скважин на данных территориях. По результатам гидролокационного обследования на сонограмме одной из скважин видна аномалия, являющаяся устьевым оборудованием скважины (см. рис. 4, б).

На сонограммах остальных скважин можно заметить следы бетонных конструкций, образовавшихся в ходе ликвидационных работ, которые отчетливо выделяются за счет наиболее интенсивного отражения акустического сигнала по сравнению с песчаным дном (рис. 5). По результатам гидролокационной съемки в районах скважин были обнаружены посторонние объекты, которые были обследованы с помощью ТНПА.

¹ ГОСТ 31861-2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.

а)



б)



Рис. 4. Изображения металлической трубы, полученные с помощью телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (а) и интерферометрического гидролокатора бокового обзора (б)

В рамках проведения гидролокационного обследования были собраны сонограммы общей протяженностью 27593,5 м. Во время обработки данных были обнаружены и подавлены артефакты записи, связанные с отсутствием корректных координат в полевых сонограммах, с различной частотой дискретизации каналов левого и правого борта ИГБО под влиянием погодных условий.

Также была проведена оценка точности позиционирования приемно-излучаемой антенны и составлен каталог объектов ИГБО¹.

Подводное визуальное обследование ТНПА выполнялось в местах расположения устьев скважин, выявленных по результатам гидролокационной и магнитометрической съемок. Устьевое оборудование визуально было найдено и обследовано только на одной из скважин, в остальных местах были обнаружены бетонные плиты, под которыми находятся устья ликвидированных скважин. Магнитные аномалии, которые четко прослеживаются в данных местах, подтверждают эту информацию.

В результате проведенной гидромагнитной съемки на четырех полигонах и предварительной полевой обработки данных построены карты полного магнитного поля. Визуально по оценке максимумов значений полного магнитного поля на каждой площадке получены координаты крупных ферромагнитных объектов, приуроченных к устьям пробуренных ранее скважин. В процессе камеральной обработки магнитометрических и навигационных данных по-

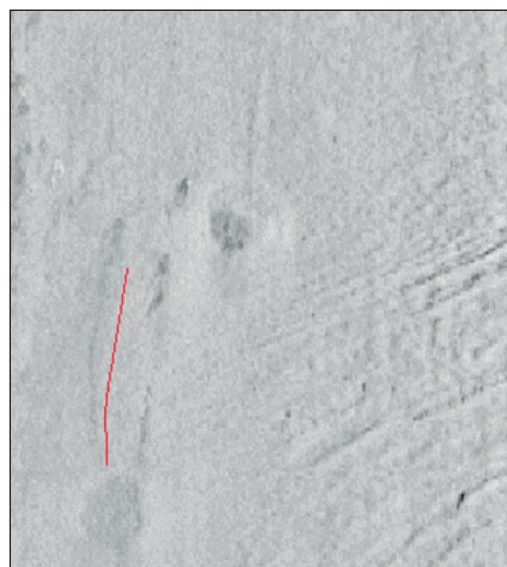


Рис. 5. Линейный техногенный объект и два изометричных объекта, выделенные по данным интерферометрического гидролокатора бокового обзора

строены карты аномального магнитного поля масштаба 1:1000, уточнены координаты обнаруженных ранее объектов. Карта изодинам полного магнитного поля на площадке одной из скважин приведена на рис. 6.

¹ Технический отчет по проекту «Выполнение геотехнических работ на Долгинском нефтяном месторождении». М.: ООО «ЦМИ МГУ», 2018.

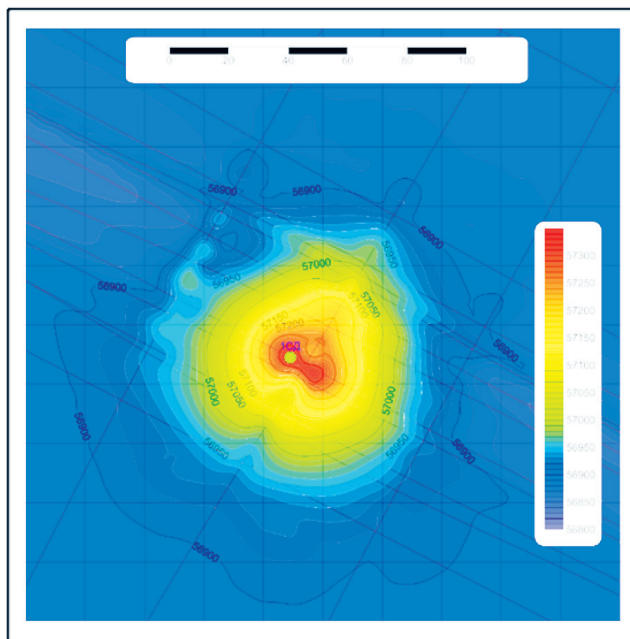


Рис. 6. Карта изодинам полного магнитного поля на площадке одной из скважин

Результаты выполненных инженерно-экологических работ показывают, что гидрохимическое состояние морских вод по всем изученным показателям в совокупности соответствует характерному для исследуемого района состоянию экосистемы в конце календарного лета. Исследования показали в целом низкий уровень загрязнения вод тяжелыми металлами. Определение показателей загрязненности и физико-химических параметров донных отложений соответствует типичному распределению литологических типов донных отложений в данной акватории. Концентрации всех основных исследованных загрязняющих веществ органического происхождения также не превысили международных нормативов. Содержание метана во всех пробах было ниже предела обнаружения. Результаты мониторинга показателей состояния фитопланктона, зоопланктона и зообентоса показали допустимую норму, характерную для исследуемой акватории. Отклонений относительно данных предыдущих исследований не обнаружено. Газопроявлений в районе устьев разведочных скважин не выявлено.

Заключение (Conclusion)

В статье описана методика и представлены основные результаты комплекса работ по обследованию устьев ликвидированных скважин. В связи с имеющимися ограничениями и трудностями выполнения данных работ, связанными с местоположением скважин и природно-климатическими условиями региона, использование данной технологии подводного обследования ликвидированных устьев разведочных скважин на примере Долгинского нефтяного месторождения позволяет решать поставленные задачи с целью предупреждения и минимизации последствий возможных природных и техногенных катастроф.

Благодаря результатам, полученным в ходе выполненных работ на Долгинском нефтяном месторождении, удалось в полной мере получить всю необходимую информацию для обеспечения рационального и экологически безопасного природопользования, так как чувствительная экосистема северных морей предписывает необходимость грамотного, комплексного и точного экологического сопровождения деятельности нефтегазового комплекса на шельфе.

Сочетание дистанционных площадных методов, точечных данных пробоотбора и видеосъемки дали возможность выполнить комплексный пространственный анализ морского дна в районе расположения устьев скважин. Используемые технологии, основанные на геофизических методах,

позволили эффективно и достоверно определить местоположение скважин, состояние близлежащей части акватории на предмет техногенного воздействия, а также состояние самих устьев скважин. Таким образом, практическая значимость результатов представленных исследований заключается в том, что они создают основу практически-ориентированного инструментария для оценки рисков при планировании деятельности нефтегазового комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Paulin M.* The Evolution of Design Tools for Arctic Subsea Pipelines / M. Paulin, J. Caines // Arctic Technology Conference. — Offshore Technology Conference, 2016. DOI: 10.4043/27374-MS.
2. *Shukla A.* Application of robotics in offshore oil and gas industry — A review Part II / A. Shukla, H. Karki // Robotics and Autonomous Systems. — 2016. — Vol. 75. — Pp. 508–524. DOI:10.1016/j.robot.2015.09.013.
3. *Шматков А. Г.* Применение телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов при проведении инженерно-геологических изысканиях: стандартная практика и инновации / А. Г. Шматков, А. А. Шматков // ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии: труды Международной геолого-геофизической конференции. — Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2018. — С. 777–779.
4. Capabilities and Uses of Sensor and Video-Equipped Waterborne Surveillance-ROVs for Subsea Detection and Tracking of Oil Spills. — IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project Surveillance, Modelling & Visualization. Work Package 1: In Water Surveillance, 2016. — 89 p.
5. In-water surveillance of oil spills at sea. Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 550. — IPIECA-IOGP, 2016.
6. *Казанин А. Г.* Инновационные технологии при выполнении инженерно-геологических работ на арктическом шельфе России / А. Г. Казанин [и др.] // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 10. — С. 21–24.
7. *Гудимов А. В.* Современный экологический мониторинг и многоуровневая биоиндикация: новые методы исследования состояния морской среды / А. В. Гудимов, В. С. Свитица, А. И. Бурдыгин, Е. П. Комарова // Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование: сб. ст. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 125-летию проф. В. А. Водяницкого. — Севастополь: Колорит, 2018. — С. 83–89.
8. *Агарков С. А.* Экологический мониторинг среды обитания регионального морского пространства Арктики / С. А. Агарков, С. Ю. Козьменко, А. Н. Савельев // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. — 2018. — № 6 (114). — С. 82–89.
9. *Дмитриевский Н. Н.* Применение высокоразрешающей гидроакустики для определения положения заглушенных подводных скважин / Н. Н. Дмитриевский [и др.] // Успехи современного естествознания. — 2018. — № 7. — С. 109–115.
10. *Munschy M.* Magnetic mapping for the detection and characterization of UXO: Use of multi-sensor fluxgate 3-axis magnetometers and methods of interpretation / M. Munschy, D. Boulanger, P. Ulrich, M. Bouiflane // Journal of Applied Geophysics. — 2007. — Vol. 61. — Is. 3–4. — Pp. 168–183. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2006.06.004.
11. *Инзарцев А. В.* Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение / А. В. Инзарцев, Л. В. Киселёв, В. В. Костенко, Ю. В. Матвиенко, А. М. Павин, А. Ф. Щербатюк. — Владивосток: ФГБУН Ин-т проблем морских технологий ДВО РАН, 2018. — 368 с.
12. *Барашок П. И.* Современные способы обследования морского дна для обнаружения и устранения взрывоопасных объектов до строительства трубопровода / П. И. Барашок, Ю. Г. Фирсов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 1 (35). — С. 47–59. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-47-59.
13. *Sun D.* Sound velocity correction based on effective sound velocity for underwater acoustic positioning systems / D. Sun, H. Li, C. Zheng, X. Li // Applied Acoustics. — 2019. — Vol. 151. — Pp. 55–62. DOI:10.1016/j.apacoust.2019.02.027.
14. *Ваулин Ю. В.* Особенности навигационного и алгоритмического обеспечения телеуправляемого необитаемого подводного аппарата / Ю. В. Ваулин, В. В. Костенко, А. М. Павин // Подводные исследования и робототехника. — 2013. — № 2 (16). — С. 4–15.
15. *Борейко А. А.* Навигационное и алгоритмическое обеспечение комплекса АНПА-ТНПА при решении задач мониторинга донной поверхности / А. А. Борейко [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2014. — № 3 (152). — С. 112–127.

REFERENCES

1. Paulin, Mike, and Jonathan Caines. "The Evolution of Design Tools for Arctic Subsea Pipelines." *Arctic Technology Conference*. Offshore Technology Conference, 2016. DOI: 10.4043/27374-MS.
2. Shukla, Amit, and Hamad Karki. "Application of robotics in offshore oil and gas industry—A review Part II." *Robotics and Autonomous Systems* 75 (2016): 508–524. DOI:10.1016/j.robot.2015.09.013.
3. Shmatkov, A. G., and A. A. Shmatkov. "Primenenie teleupravlyaemykh neobitaemykh podvodnykh apparatov pri provedenii inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh: standartnaya praktika i innovatsii." *GeoEvraziya 2018. Sovremennye metody izucheniya i osvoeniya neдр Evrazii: Trudy Mezhdunarodnoi geologo-geofizicheskoi konferentsii*. Tver': OOO «PoliPRESS», 2018. 777–779.
4. *Capabilities and Uses of Sensor and Video-Equipped Waterborne Surveillance-ROVs for Subsea Detection and Tracking of Oil Spills*. IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project Surveillance, Modelling & Visualization. Work Package 1: In Water Surveillance, 2016.
5. *In-water surveillance of oil spills at sea. Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP)*. IOGP Report 550. IPIECA-IOGP, 2016.
6. Kazanin, A. G., G. S. Kazanin, G. I. Ivanov, M. V. Sarkisyan, and V. E. Morozov. "Innovative technologies in the implementation of engineering and geological work on the Arctic shelf of Russia." *Prospect and protection of mineral resources* 10 (2017): 21–24.
7. Gudimov, A. V., V. S. Svitina, A. I. Burdygin, and E. P. Komarova. "Current ecological monitoring and several biological levels of bioindicators: new methods of marine environment assessment." *Zagryaznenie morskoi sredy: ekologicheskii monitoring, bioindikatsiya, normirovanie: Sbornik statei Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 125-letiyu professora V.A. Vodyanitskogo*. Sevastopol': Kolorit, 2018. 83–89.
8. Agarkov, S. A., S. Yu. Kozmenko, and A. N. Savelyev. "Environmental monitoring of the arctic regional marine space environment." *Izvestiâ Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo èkonomicheskogo universiteta* 6(114) (2008): 82–89.
9. Dmitrevskiy, N. N., R. A. Ananov, A. A. Meluzov, N. V. Shabalin, and D. M. Remizova. "Application of the high resolution underwater acoustics for definition of position of the muffled underwater wells." *Advances in current natural sciences* 7 (2018): 109–115.
10. Munsch, Marc, Daniel Boulanger, Patrice Ulrich, and Mustapha Bouiflane. "Magnetic mapping for the detection and characterization of UXO: Use of multi-sensor fluxgate 3-axis magnetometers and methods of interpretation." *Journal of Applied Geophysics* 61.3-4 (2007): 168–183. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2006.06.004.
11. Inzartsev, A. V., L. V. Kiselev, V. V. Kostenko, Yu. V. Matvienko, A.M. Pavin, and A.F. Shcherbatyuk. *Podvodnye robototekhnicheskie komplekсы: sistemy, tekhnologii, primeneniye*. Vladivostok: FGBUN In-t problem morskikh tekhnologii DVO RAN, 2018.
12. Barashok, Pavel Ivanovich, and Yury Georgievich Firsov. "Modern methods of the seafloor investigations for the explosive objects detection before the pipeline construction." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiralâ S.O. Makarova* 1(35) (2016): 47–59. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-47-59.
13. Sun, Dajun, Haipeng Li, Cuie Zheng, and Xiang Li. "Sound velocity correction based on effective sound velocity for underwater acoustic positioning systems." *Applied Acoustics* 151 (2019): 55–62. DOI:10.1016/j.apacoust.2019.02.027.
14. Vaulin, Yu. V., V. V. Kostenko, and A. M. Pavin. "Features navigation and algorithmic support remote-controlled unmanned underwater vehicles." *Underwater Investigations and Robotics* 2(16) (2013): 4–15.
15. Boreiko, Aleksei Anatolyevich, Yuri Valentinovich Vaulin, Vladimir Vladimirovich Kostenko, Yuri Victorovich Matvienko, Denis Nikolaevich Mikhailov, and Alexandr Mikhailovich Pavin. "Navigation and algorithmic support AUV-ROV complex in solving problems monitoring bottom surface." *Izvestiya SFedU. Engineering sciences* 3(152) (2014): 112–127.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хурматова Гульнара Ильгизаровна —
специалист-эколог
ООО «Центр морских исследований МГУ
имени М. В. Ломоносова»
119234, Российская Федерация, Москва,
ул. Ленинские Горы, д. 1, стр.77
e-mail: khurmatova@marine-rc.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Khurmatova, Gulnara I. —
Environmental Specialist
LLC «Lomonosov Moscow State University
Marine Research Center»
1-77, Leninskie Gory Str., Moscow, 119234,
Russian Federation
e-mail: khurmatova@marine-rc.ru

Зудин Иван Владимирович —

аспирант, ведущий инженер

Научный руководитель:

Фирсов Юрий Георгиевич —

кандидат технических наук

ООО «Газпром-нефть шельф»

197198, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

пер. Зоологический, д. 2-4, лит. Б

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,

ул. Двинская, 5/7

e-mail: Zudin.hydro@gmail.com

Шабалин Николай Вячеславович —

исполнительный директор

ООО «Центр морских исследований МГУ

имени М. В. Ломоносова»

119234, Российская Федерация, Москва,

ул. Ленинские Горы, д. 1, стр. 77

e-mail: nikolai.shabalin@marine-rc.ru

Zudin, Ivan V. —

Postgraduate, Lead Engineer

Supervisor:

Firsov, Yurii G. —

PhD

LLC «Gazprom Neft Shelf»

2-4/B, Zoologicheskii Lane, St. Petersburg,

197198, Russian Federation

Admiral Makarov State University

of Maritime and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,

Russian Federation

e-mail: Zudin.hydro@gmail.com

Shabalin, Nikolay V. —

Executive Director

LLC «Lomonosov Moscow State University

Marine Research Center»

1-77, Leninskie Gory Str., Moscow, 119234,

Russian Federation

e-mail: nikolai.shabalin@marine-rc.ru

Статья поступила в редакцию 6 февраля 2019 г.

Received: February 6, 2019.