

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ АКВАТОРИЙ АРКТИКИ ОАО «МАГЭ», ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ МОРСКОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Г. С. Казанин, А. Г. Казанин, С. О. Базилевич

ОАО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» (Мурманск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 24 мая 2020 г.

Дана характеристика основных результатов геофизических исследований, выполненных ОАО «МАГЭ» на шельфе Арктики и акваториях Мирового океана. В ходе региональной сейсморазведки изучена нефтегазоносность морей и глубоководной части Северного Ледовитого океана. Выявлен и подготовлен к бурению ряд перспективных локальных структур. Проведен большой объем сейсморазведки 3D. ОАО «МАГЭ» активно участвует в процессе разработки и опробования новых технических средств по программе импортозамещения. Впервые с отечественным комплексом «Краб» проведена сейсморазведка 3D-4C в Охотском море на Аяшском месторождении.

Ключевые слова: Арктика, Северный Ледовитый океан, экспедиции «Арктика-2014», нефтегазоносность, морская сейсморазведка, импортозамещение, регистрирующий комплекс «Краб».

Введение

Компания «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» (ОАО «МАГЭ») — одна из первых морских геофизических компаний России, созданная в 1972 г. для проведения широкого спектра геолого-геофизических исследований строения шельфовых морей, транзитных и прибрежных зон Арктики и Мирового океана. Первоначально входила в состав Северного морского научно-производственного геолого-геофизического объединения («Севморгео») Министерства геологии СССР и называлась «Комплексная морская арктическая геолого-геофизическая экспедиция» (КМАГЭ). Основатель КМАГЭ Н. Н. Трубяччинский смог быстро создать коллектив экспедиции в Мурманске, и уже в 1973 г. были проведены первые морские геофизические ис-

следования в Баренцевом море. В 1987—1999 г. генеральным директором ОАО «МАГЭ» был Р. Р. Мурзин, а с 1999 г. более 20 лет — Г. С. Казанин. В течение почти полувековой истории компания МАГЭ является одним из российских лидеров проведения морских геофизических работ.

В статье в краткой форме показаны основные результаты геолого-геофизических исследований, выполненных компанией на шельфе Арктики и акваториях Мирового океана, а также решение вопросов импортозамещения в области морского геофизического оборудования, в котором компания принимает непосредственное участие.

Морские геолого-геофизические исследования

В течение почти полувековой истории компания МАГЭ была одним из российских лидеров проведения морских геофизических работ. Ею были вы-



Рис. 1. Схема расположения районов сейсморазведочных работ на нефть и газ, выполненных ОАО «МАГЭ» по государственному заказу на арктическом шельфе в XXI в.
 Fig. 1. The layout of areas of seismic survey for oil and gas exploration, performed by JSC "MAGE" against state order on the Arctic shelf in the XXI century

полнены значительные объемы сейсморазведочных работ 2D (более 70 тыс. пог. км) и 3D (более 20 тыс. км²), а также комплексных инженерных изысканий в арктических и дальневосточных морях России как по государственным контрактам, так и по заказам недропользователей. Кроме того, в зимние сезоны большие объемы работ были выполнены во многих других странах.

В 1973—1990 гг. на арктическом шельфе России, в Антарктике (моря Росса и Уэдделла), на геотраверсах в Атлантике (АБГТ и КБГТ) отработано около 94 тыс. км сейсмопрофилей МОГТ (методом общей глубинной точки) 2D. В 1991 г. МАГЭ совместно с норвежской компанией «Geoteam» вышла на международный рынок геофизических услуг с сейсмическими работами. Объем сейсморазведки 2D, выполненной по международным контрактам (1991—2009 гг.) научно-исследовательскими судами (НИС) «Геолог Дм. Наливкин» и «Профессор Куренцов», превысил 380 тыс. км. В 2010—2013 гг. В Индийском океане и на шельфе Норвегии по зарубежным контрактам отработано более 31 тыс. км сейсмопрофилей. В 2014—2016 гг. по зарубеж-

ным контрактам исследовано более 20 тыс. км сейсмопрофилей.

В 2012—2019 гг. экспедиция выполнила значительные объемы сейсморазведочных работ по заказам российских компаний-недропользователей: более 77 тыс. км сейсмопрофилей МОГТ 2D и более 20 тыс. км² сейсморазведки 3D в морях Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском. В итоге общий объем выполненных МАГЭ сейсморазведочных работ МОГТ 2D составил около 740 тыс. км.

В 1970-х годах первыми сейсмическими и гравимагнитными исследованиями ОАО «МАГЭ» были выявлены крупнейшие осадочные бассейны на шельфе Баренцева и Карского морей. Стало очевидно, что структуры Тимано-Печорской и Западно-Сибирской нефтегазоносных провинций имеют продолжение на прилегающем шельфе.

С 1973 по 1978 гг., за первое пятилетие работы предприятия, были получены основополагающие геологические результаты. В южных районах Баренцева моря работами КМАГЭ выявлено 27 локальных структур, в том числе Варандейская, Приразломная, Больше-Гуляевская (позднее переименованная в Долгинскую), такие структуры, как Куренцовская,

Дресвянская, Северо-Гуляевская, Мурманская, Северо-Кильдинская и Поморская, были не только выявлены, но и подготовлены к бурению. В Карском море обнаружено 11 структур, из которых 8 детализировано, а Ленинградская и морская часть Харасавэйской подготовлены под глубокое бурение. Общая площадь подготовленных структур — 2340 км², из которых 1800 км² приходится на уникальную Ленинградскую структуру, на которой выявлен и прослежен сейсморазведной газо-водяной контакт в сеноманской продуктивной толще.

В 2004 г. Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) в рамках «Долгосрочной государственной программы воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья» активизировало проведение региональных геолого-разведочных работ на нефть и газ в морях Арктики. ОАО «МАГЭ» принимало в этот период активное участие в исследованиях арктического шельфа от разработки долговременных программ его изу-

чения, формирования предложений по конкретным участкам работ до получения геологических результатов и оценки прогнозных ресурсов.

Общий объем выполненных ОАО «МАГЭ» по государственному заказу профилей МОГТ 2D превысил 137 тыс. пог. км (рис. 1, табл. 1) [1—5]. Сейсмические исследования МОГТ проводятся в комплексе с гравимагнитными наблюдениями и сейсморазведкой методом преломленных волн, что значительно повышает их геологическую информативность. Увеличение средств, выделяемых на разведку шельфа по госзаказу начиная с 2004 г., незамедлительно отразилось на результатах.

Исследования современного этапа внесли решающий вклад в региональное изучение и оценку перспектив нефтегазоносности арктического шельфа, в особенности северных районов морей Баренцева, Карского и Лаптевых, где были впервые выявлены десятки перспективных структур с локализованными прогнозными ресурсами более 3 млрд т н. э. (н. э. — нефтяной эквивалент).

Таблица 1. Районы сейсморазведочных работ на нефть и газ, выполненных ОАО «МАГЭ» по заказу Роснедра

№ п/п	Район исследований	Сроки работ	Сеть профилей, км×км	Объем МОГТ 2D, км
<i>Шельф Шпицбергена</i>				
1	Западно-Шпицбергенский район (ГК № ВК-0206/352)	2003	5×15	3400
	Юго-западный район (ГК № 06/03/70-160)	2005—2006	5×15	4000
2	Южно-Шпицбергенский район (ГК № 04/03/70-71)	2005	10×20	3000
	Поморский прогиб (ГК № 11/03/70-308)	2007—2008	10×15	3000
<i>Баренцево море</i>				
3	Адмиралтейский вал (ГК № 01/03/331-2)	2005	10×30	7250
4	Северо-Баренцевская впадина (ГК № 05/03/70-152)	2006—2007	25×50	7000
5	Пинегинская площадь (ГК № 10/03/70-307)	2007—2008	10×25	4500
6	Прогиб Франц-Виктория (ГК № 12/03/70-350)	2007—2009	10×12	5200
7	Южно-Баренцевская впадина (ГК № 13/03/70-352)	2007—2009	60×85	12 000
8	Трубятчинский район (ГК № 17/03/70-66)	2010	6,5×7,5	6 000
9	Предновоземельский район (ГК № 21/03/70-31)	2011—2012	12×22	7 000
10	Гусиноземельский район (ГК № 24/03/70-115)	2012—2013	4×5	6 000
11	Седюяхинский вал (ГК № 36/03/82-10)	2014—2015	10×5	1 680
12	Колгуевский район (Дог. № 113/2016-ЮЛ)	2016—2017	6×6	3 700
<i>Белое море</i>				
13	Бассейн, Воронка (ГК № 331-12, 09/03/12-23)	2004, 2007—2008	20×20	3 400

№ п/п	Район исследований	Сроки работ	Сеть профилей, км×км	Объем МОГТ 2D, км
<i>Карское море</i>				
14	Обручевский вал (ГК № ПС-02-06/1612)	2004	4×30	6 000
15	Вал Минина (ГК № 16/03/70-58)	2010—2011	4×30	6 000
16	Северо-Сибирский порог (ГК № 28/03/70-141)	2012—2013	20×30	5 700
17	Прогибы Святой Анны и Воронина (Дог. № 112/2016-ЮЛ)	2016	20×20	4 000
<i>Море Лаптевых</i>				
18	Южно-Лаптевский район (ГК № ПС-02-06/1611)	2005	12,5×23	3 000
19	Юго-западный район (ГК № 07/03/70-230)	2007	25×15	2 000
20	Центрально-Лаптевский район (ГК № 15/03/70-20)	2009—2010	15×25	6 000
21	Притаймырский район (ГК № 20/03/70-23)	2011—2012	11×12	5 000
22	Северо-западный район (ГК № 25/03/70-114)	2012—2013	16×16	4 000
23	Евразийский район (ГК № 35/03/81-77)	2014—2015	—	1 400
<i>Восточно-Сибирское море</i>				
24	Район Де-Лонга (ГК № 23/03/70-52)	2011—2012	20×100	3 600
25	Восточно-Сибирский район (ГК № 34/03/82-4)	2016	125×35	3 600
<i>Северный Ледовитый океан (глубоководье)</i>				
26	Район хребта Ломоносова (ГК № 19/03/20-13)	2010	—	820
	ВГКШ (ГК № 33/03/82-1)	2014	—	4 000
	АКШ (ГК № 37/03/82-20)	2014	—	4 950
<i>Акватории Арктики, всего</i>		2003—2017		137 200

Примечание. ГК — государственный контракт, ВГКШ — внешняя граница континентального шельфа, АКШ — арктический континентальный шельф.

Сейсмические исследования МОГТ 2D в Баренцевом море в пределах южной периклинали Адмиралтейского вала показали, что в отложениях мелового перспективно нефтегазоносного комплекса могут быть газовые залежи, имеющие промышленное значение. В частности, северо-восточнее Ледового месторождения и южнее Лунинской структуры обнаружены аномалии типов «яркое пятно» и «плоское пятно» (газоводяной контакт), являющиеся косвенными признаками наличия газовой залежи.

На восточном борту Северо-Баренцевской синеклизы и в пределах окружающих ее приподнятых зон в потенциально нефтегазоносных палеозойских и триасовых отложениях было выявлено 20 новых локальных антиклинальных объектов. Большая часть этих структур связана с триасовым нефтегазоносным комплексом (НГК) и приурочена к Аль-

бановско-Горбовскому порогу и склону Сводового поднятия Земли Франца-Иосифа. Площади структур Гидрографов и Сальмской превышают 1000 км². Кроме локальных антиклинальных поднятий в области Альбановско-Горбовского порога выделены зоны развития ловушек неструктурного типа, связанных с клиноформами мелового комплекса. Перерыв в осадконакоплении, установленный в кровле триасовых отложений (на сейсмических разрезах он выглядит как ярко выраженная эрозионная поверхность), создает хорошие условия для формирования неструктурных ловушек стратиграфического типа. В пределах Альбановско-Горбовского порога совместилось несколько благоприятных в аспекте нефтегазоносности структурных и литолого-стратиграфических факторов: антиклинальные и стратиграфические ловушки в триасовых отложениях



Рис. 2. НИС «Николай Трубыачинский» — флагман ОАО «МАГЭ» в Кольском заливе
Fig. 2. The RV Nikolay Trubyatchinskiy — the flagship of JSC “MAGE” in the Kola Bay

и литологические ловушки мелового перспективно нефтегазоносного комплекса.

В пределах Поднятия мыса Желания по палеозойским отложениям выявлена крупная Варнекская антиклинальная структура площадью более 2800 км², сопоставимая по размерам со структурами Адмиралтейского мегавала: Адмиралтейской, Крестовой и Пахтусовской.

В южной части Баренцева моря завершены работы по созданию каркасной сети глубинных сейсмических профилей МОГТ. Эти профили с длиной записи 10—12 с пересекают Южно-Баренцевскую синеклизу (по доюрским отложениям — впадину) от Кольского полуострова до Новой Земли и от Тимано-Печорской плиты до Центрально-Баренцевских поднятий, освещая разрез осадочного чехла на полную мощность. Впервые получена представительная информация о строении глубоких горизонтов этого крупнейшего осадочного бассейна, которая поможет разрешить многие дискуссионные проблемы, касающиеся генезиса Восточно-Баренцевского мегапрогиба.

Работы, проведенные в море Лаптевых с 2005 по 2013 гг., позволили изучить строение осадочного чехла и фундамента, выявить основные тектонические элементы Усть-Ленской и Западно-Лаптевской рифтогенных зон, представляющих собой сложный ансамбль сопряженных горстов и грабен, в пределах которых локализуются антиклинальные поднятия и создаются предпосылки формирования широкого спектра неантиклинальных ловушек. Были уточнены региональные черты структуры осадочного чехла и фундамента, характер сочленения Си-

бирской платформы и обрамляющих ее складчатых систем с рифтовыми прогибами шельфовой области, а также стратиграфический объем осадочного чехла. Начальные суммарные ресурсы углеводородов исследованной части моря Лаптевых были оценены в 3,1 млрд т н. э.

Огромное значение для наращивания нефтегазового потенциала страны имели работы по программе ВГКШ — определению внешней границы континентального шельфа России в восточном секторе Арктики.

В 2007—2010 гг. ОАО «МАГЭ» выполнены работы на региональном профиле А7, простирающемся вдоль хребта Ломоносова от Новосибирских островов до широты 83°34', протяженностью 820 км.

В 2014 г. проведена высокоширотная экспедиция в Северном Ледовитом океане. Главной целью экспедиции «Арктика-2014», отличающей ее от всех предыдущих, являлось выполнение комплексных геофизических работ с целью создания геолого-геофизической основы для оценки перспектив нефтегазоносности континентального шельфа Северного Ледовитого океана за пределами 200-мильной экономической зоны [4; 5]. Координация работ была поручена ОАО «МАГЭ» как головному предприятию, накопившему в ходе выполнения работ в арктических и дальневосточных морях России значительный опыт успешного руководства коллективным выполнением комплексных проектов.

В состав экспедиции «Арктика-2014» входили научно-экспедиционное судно (НЭС) «Академик Федоров» и НИС «Николай Трубыачинский» (рис. 2) при поддержке атомного ледокола «Ямал». НЭС «Акаде-

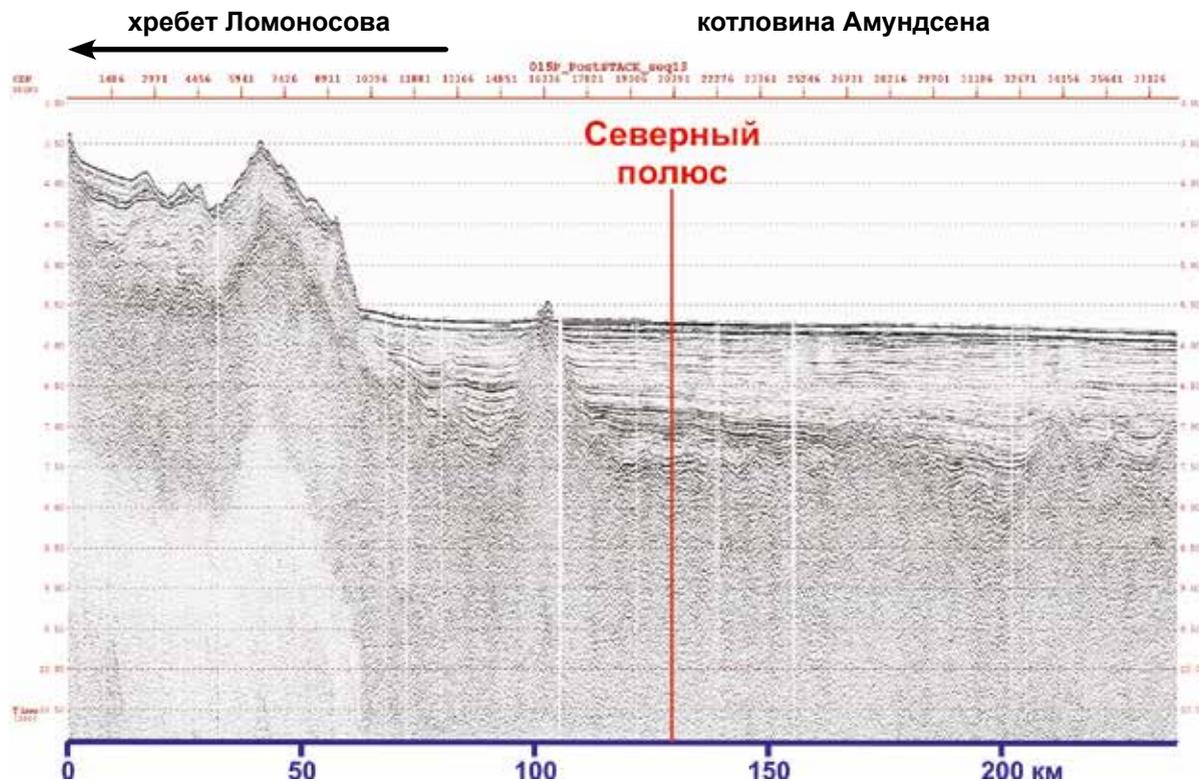


Рис. 3. Сейсмопрофиль МОГТ AR14-39а через Северный полюс (2014 г.)
 Fig. 3. CDP seismic profile AR14-39a across the North Pole (2014)

мик Федоров» было специально переоборудовано для работ в ледовых условиях. При этом в надводной и подводной частях кормы было установлено устройство, созданное по патенту на изобретение RU 151346 (автор Г. С. Казанин). Масса этой конструкции — 10 т [4; 5].

В ходе работ МОГТ в 2014 г. был впервые выполнен непрерывный сейсмический профиль AR14-07 протяженностью около 1300 пог. км (сейсмокоса Sercel Seal), пересекающий все основные структуры Евразийского бассейна: котловину Амундсена, хребет Гаккеля, котловину Нансена. Особо отметим, что впервые в мире сейсмическим профилем МОГТ AR14-39a с твердотельной 600-метровой косой был пересечен Северный полюс (рис. 3).

Одним из важных направлений геолого-геофизических работ ОАО «МАГЭ» в последние годы стали инженерно-геологические исследования с высокоразрешающей сейсморазведкой (рис. 4) и другим оборудованием, ориентированные на изучение верхней части разреза (придонных отложений) и подготовку площадей для бурения поисково-разведочных скважин. Основной целью этих работ является выявление и снижение рисков возникновения аварийных ситуаций, из-за которых нередко возникали катастрофические выбросы газа из придонных отложений [5].

В ряде случаев важная информация о верхней части разреза может быть получена при анализе дан-

ных традиционной сейсморазведки МОГТ. В частности, на рис. 5 приведен пример уверенного выделения сейсмического горизонта BSR (Bottom Simulating Reflector — возможная подошва газовых гидратов) на временных разрезах МОГТ по сейсмопрофилям ОАО «МАГЭ» на Центрально-Лаптевском участке в 2009 г. (№ 20 на рис. 1 и в табл. 1) [6; 7]. В точке пересечения региональных сейсмопрофилей МОГТ LS 0927 и LS 0914 горизонты BSR четко увязаны.

Однако наряду с безусловными достижениями в исследовании шельфа новейший этап отличается немалыми сложностями, в том числе из-за введения санкций на поставку зарубежного оборудования для работ на шельфе.

После распада СССР отечественные геофизические суда были практически полностью оснащены оборудованием для выполнения морской сейсморазведки (сейсмические косы, донные станции, пневмоисточники, навигационное обеспечение) зарубежного производства. Начиная с 2014 г. под действием санкций основные поставщики оборудования — компании из Франции, США, Великобритании — были вынуждены приостановить поставку нового оборудования и обслуживание реализованного ранее. Например, французская компания «Sercel» (мировой лидер производства геофизического оборудования) приостановила действие многих контрактов, прекратила ремонт сейсмических

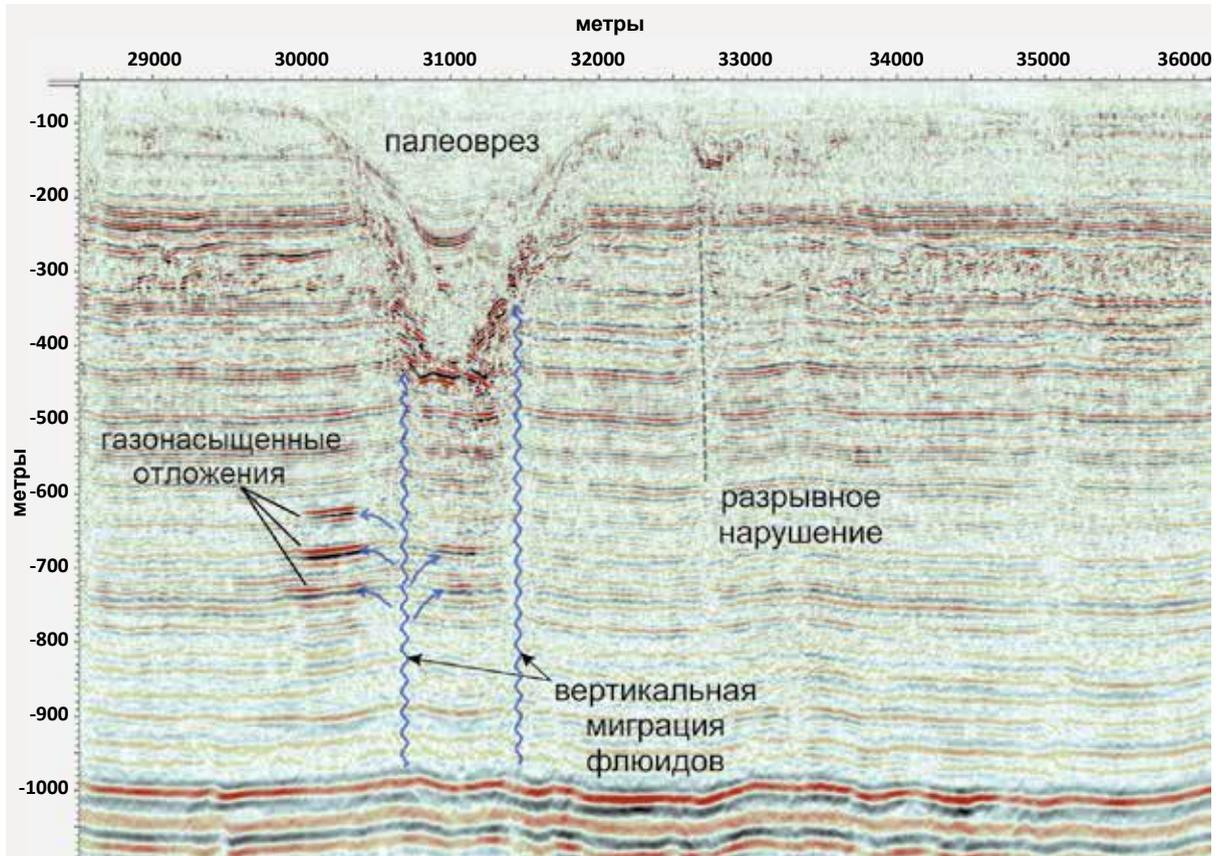


Рис. 4. Фрагмент глубинного разреза с геологическими опасностями на дне Карского моря
Fig. 4. Fragment of a deep section with geological hazards at the bottom of the Kara Sea

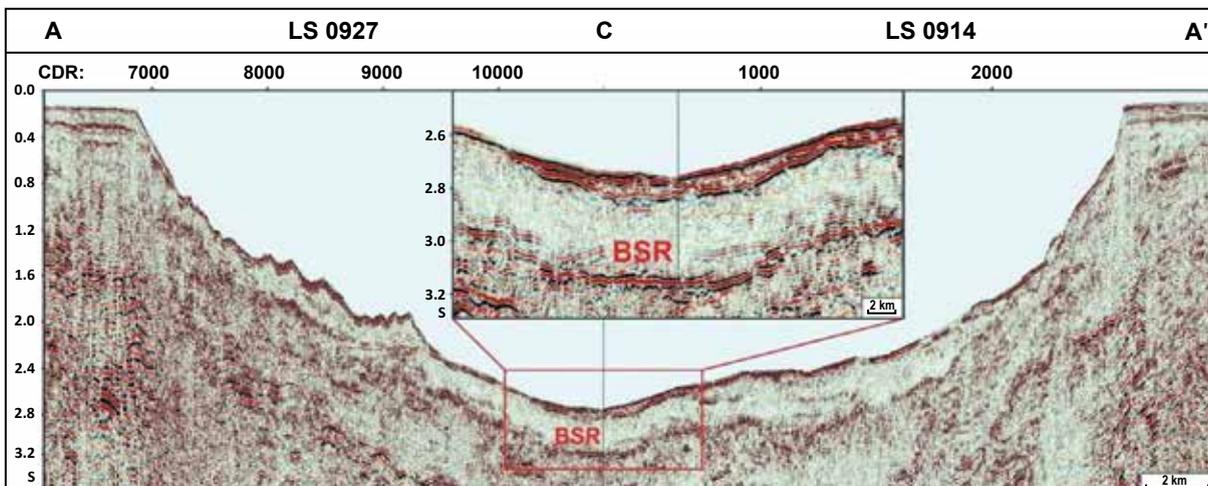


Рис. 5. Распространение залежей газовых гидратов на континентальном склоне моря Лаптевых в точке пересечения региональных сейсмопрофилей МОГТ LS 0927 и LS 0914 ОАО «МАГЭ» [6; 7]
Fig. 5. Distribution of gas hydrate deposits on the continental slope of the Laptev Sea at the intersection of the regional CDP seismic profiles LS 0927 and LS 0914 by JSC "MAGE" [6; 7]

кос и поставку комплектующих. Ориентировочная доля сейсмических кос этой компании по отношению к косам других производителей для российских компаний составляет 70—80%. При этом суда ОАО «МАГЭ» на 95% оснащены косами компании «Sercel».

Суда ОАО «МАГЭ» на 75% оснащены пневмоисточниками компании BOLT (США), которая приостановила все поставки комплектующих для пневмоисточников. Можно привести ряд других негативных примеров [5; 8; 9].



а



б

Рис. 6. Сейсмический комплекс с донными регистраторами «Краб» на Аяшском месторождении в Охотском море в 2019 г.: рабочие стеллажи с модулями на судне (а) и модули в процессе установки (б)

Fig. 6. Seismic equipment with bottom recorders "Krab" at the Ayashskoye Field in the Sea of Okhotsk in 2019: shelves with modules on the vessel (a) and modules during installation (b)

В связи со сложившейся ситуацией крайне актуальными стали проблемы разработки, испытаний и серийного производства отечественного специализированного геофизического оборудования для морской сейсморазведки, способного конкурировать с оборудованием зарубежных производителей.

Результаты и проблемы производства отечественного оборудования

Важную роль в решении проблемы импортозамещения играет государственная поддержка. В соответствии с распоряжением Правительства РФ «Об утверждении плана мероприятий по снижению зависимости российского топливно-энергетического комплекса от импорта оборудования, технических устройств, комплектующих, а также услуг (работ)

иностранных компаний, использования иностранного программного обеспечения и развитию нефтегазового комплекса Российской Федерации» от 3 ноября 2014 г. № 2195-р в Минпромторге России организована работа по импортозамещению — созданию отечественных технологий и оборудованию для проектов, реализуемых на континентальном шельфе Российской Федерации.

Компания МАГЭ присоединилась к проекту импортозамещения с самого начала работ. Специалисты МАГЭ активно делились опытом эксплуатации с производителями оборудования, участвовали в формировании технических заданий, курировали производство опытных образцов. Уже с 2017 г. на судах МАГЭ начали проводиться натурные испытания образцов оборудования, созданного в результате выполнения опытно-конструкторских работ ведущими российскими научно-техническими предприятиями, такими как АО «Концерн «Океанприбор»», ООО «Си Технолоджи Инструмент», ООО «Пульс», АО «Акустический институт им. Н. Н. Андреева», АО Научно-производственное предприятие «Авиационная и морская электроника» (АО НПП «АМЭ»), Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Первые испытания проводились на лицензионных участках Долгинский и Приразломный вблизи действующих скважин ПАО «Газпром нефть» [8; 9].

ОАО «МАГЭ» на своих судах проводила испытания следующего оборудования:

- аппаратно-программного комплекса «Краб»;
- донных и буксируемых сейсмоков;
- аппаратно-программного комплекса «Пикет» позиционирования сейсмоков и донных станций;
- источников упругих колебаний.

Среди созданных и испытанных образцов оборудования особо выделяется комплекс морской сейсморазведки «Краб» по совместному проекту Минпромторга России, ПАО «Газпром нефть», ООО «МТЦ»

(«Морской технический центр») и ОАО «МАГЭ». «Краб» — это мобильный аппаратно-программный комплекс для морских сейсмических региональных и детальных исследований 2D-3D, включая сейсмический мониторинг 4D-4C на шельфе, в транзитных зонах и на суше (рис. 6). Комплекс создан на основе четырехкомпонентных автономных донных станций (модулей), обслуживание которых осуществляется в специализированных контейнерах-лабораториях (рис. 6а). Донные станции «Краб» (рис. 6б) имеют диаметр 245 мм, массу 12 кг и способны осуществлять регистрацию на глубинах до 500 м в широком частотном диапазоне (2—1600 Гц) с шагом дискретизации 0,25—4 мс в течение 60 сут.

Комплекс «Краб» был разработан АО НПП «АМЭ» в рамках государственной программы импортозамещения в 2017 г. В рамках той же опытно-конструкторской работы был произведен первый комплект оборудования, состоящий из 400 донных сейсмических станций и контейнера-лаборатории для их обслуживания.

Осенью 2017 г. и летом 2018 г. компания МАГЭ на нефтяном месторождении Приразломное проводила испытания комплекса «Краб», сравнивая его с зарубежными аналогами — донными модулями компаний «Geospace» и «Magseis». В результате были получены сопоставимые результаты по компоненте гидрофона, прослеживались все отражающие горизонты на всю глубину разреза. По трем компонентам геофонов станций «Краб» материал более информативный, а соотношение сигнал/шум выше. В итоге испытаний донных модулей была продемонстрирована их работоспособность и подтверждена возможность получения высококачественного многокомпонентного материала в рабочей среде.

В мае-декабре 2019 г. компания МАГЭ успешно провела сейсморазведочные работы МОГТ 3D-4C в пределах Аяшского неф-



Рис. 7. Комплекс «Пикет» — система акустического позиционирования донных станций

Fig. 7. Equipment "Pickett" — an acoustic positioning system for bottom stations

тяного месторождения ООО «Газпром нефть» на акватории Охотского моря в объеме около 500 км². Для этих работ было приобретено 2800 станций комплекса «Краб». Контроль качества и первичной обработки материалов (по результатам которой был построен 3D куб) показали, что полученные сейсмические и навигационные данные имеют хорошее качество и позволяют решать поставленные геологические задачи. Однако комплекс, как любое техническое оборудование, несовершенен и требует дальнейшей модернизации как технической части, так и программного обеспечения.

Комплекс «Пикет» (рис. 7) предназначен для определения местоположения донного оборудования при морских сейсморазведочных работах посредством установки съемных маяков-ответчиков (транспондеров) на сейсмокося и донные станции. Этот комплекс создан в АО «Акустический институт им. академика Н. Н. Андреева», входящем в АО «Концерн «Моринсис-Агат»».

После раскладки геофизического комплекса с оборудованием «Пикет» производится опрос транспондеров с последующей обработкой полученных данных и отображением результатов обработки на экране планшета. Испытания комплекса «Пикет» проводились ОАО «МАГЭ» в ноябре 2017 г. на НИС «Аквамарин». На судно, оснащенное комплексом подводного позиционирования производства английской компании «Sonardyne», дополнительно был установлен комплекс «Пикет».

Позиционирование донных станций проводилось параллельно двумя комплексами с использованием единой спутниковой навигационной системы. На каждую донную станцию прикреплялось по одному транспондеру каждого вида.

Сравнительные испытания комплексов показали, что точность позиционирования комплекса «Пикет» выше аналогичных данных, полученных комплексом «Sonardyne». После успешных испытаний комплекс «Пикет» был закуплен компанией «МАГЭ» в количестве 2600 ответчиков и двух наборных систем. Приобретенное оборудование в дальнейшем было успешно использовано при 3D сейсмических исследованиях в районе морской ледостойкой стационарной платформы «Приразломная» в 2018 г. В 2019 г. парк акустических приборов был увеличен до 3500 для выполнения работ на Аяшском месторождении. Комплекс «Пикет» показал себя достаточно надежным и отработал сезон без поломок и существенных замечаний.

Морская плавучая сейсмическая коса производства «Океанприбор» и «СИ Технолоджи» предназначена для сейсмических исследований 2D (в перспективе — 3D). В комплекс входит телеметрическая станция, которая обменивается данными с геленаполненной косой. В состав опытно-конструкторских работ было включено испытание пневматических источников «Пульс». Осенью 2017 г. на судах МАГЭ были проведены опытно-методические работы, по результатам которых было определено, что источники «Пульс» работоспособны и могут составить конкуренцию зарубежным аналогам.

В полевом сезоне 2018 г. коса, разработанная предприятиями «Океанприбор» и «СИ Технолоджи», использовалась для получения сейсмических данных при выполнении инженерно-геологических изысканий в акваториях Баренцева и Карского морей (заказчик ООО «Газпром геологоразведка»). Данные работы показали, что отечественная коса является успешным аналогом, способным заменить импортное оборудование при инженерных изысканиях.

Следуя последним тенденциям волоконно-оптического приборостроения, ОАО «МАГЭ» совместно с Санкт-Петербургским национальным исследовательским университетом информационных технологий, механики и оптики и АО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор» при поддержке Минобрнауки России ведут разработку комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства по теме «Создание импортозамещающего производства волоконно-оптических морских сейсмических буксируемых кос, предназначенных для геофизических исследований, поиска и разведки месторождений углеводородов». Целью проекта являются разработка волоконно-оптической буксируемой сейсмической косы и организация ее производства в АО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор» для решения задач инженерных изысканий, геофизических

исследований, поиска и разведки месторождений углеводородов.

В настоящее время специалисты ОАО «МАГЭ» продолжают сотрудничество с отечественными производителями и активно участвуют в модернизации описанных выше комплексов. Компания МАГЭ открыта для испытаний перспективного оборудования, связанного с морскими геолого-разведочными работами.

Заключение

В последнее десятилетие эффективность государственных программ, направленных на производство отечественных геофизических комплексов, отдельных приборов и устройств, серьезно увеличилась. Произошло это в основном за счет более требовательного подхода к внедрению полученных в результате опытно-конструкторских работ образцов и, что также крайне важно, привлечения в виде кураторов проектов недропользователей — финальных заказчиков получаемого геофизического материала. Так, для государственной программы «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013—2030 годы» Минпромторг России привлек к работе в качестве куратора проектов ООО «Газпром нефть». Именно это, а также участие ОАО «МАГЭ» — сервисной компании, непосредственно проводящей работы для заказчика, позволило в сжатые сроки реализовать всю технологическую цепочку от разработки до промышленного серийного выпуска комплексов «Краб» и «Пикет».

Однако в работе по созданию отечественного геофизического оборудования существуют объективные сложности, не позволяющие говорить о достаточной эффективности реализуемых государственных программ. Основные из них можно сгруппировать в три обобщенных положения:

1. Создаваемое оборудование должно быть очень надежным, поскольку часто работы проводятся на шельфе арктических морей в течение продолжительного полевого сезона, когда замена или серьезный ремонт оборудования невозможны. При этом количество используемого оборудования относительно невелико даже в масштабах страны. Можно говорить об уникальности каждого из видов оборудования. Таким образом, рынок сбыта, обусловленный отдельно взятой страной, не будет являться достаточным для приемлемой рентабельности производства. Решением проблемы может стать выход с продукцией на мировые рынки. Но для этого создаваемое оборудование должно быть либо лучше, либо дешевле, чем у конкурентов. А этого пока нет по обоим параметрам. Требуется дальнейшая модернизация для первого и налаживание серийного производства для второго. Кроме того, для выхода в третьи страны необходима сертификация по мировым стандартам, что в нынешней обстановке проблематично.

2. Создаваемые комплексы должны постоянно модернизироваться. Результаты работ отечественного ВПК — принятые на вооружение и серийно выпускаемые образцы — после практического применения всегда дорабатываются в соответствии с полученным опытом применения. Для геофизического оборудования, используемого на шельфе (и особенно арктических морей), необходим точно такой же процесс и по тем же причинам. Но в настоящее время в Российской Федерации принята система финансирования только разработки оборудования. За счет каких средств должны происходить модернизация и дальнейшая разработка, неясно. Российские НИИ и привлекаемые предприятия не имеют средств для такого процесса. Сервисные компании, приобретающие оборудование, также не могут вести подобные работы за свой счет, хотя, учитывая опыт ОАО «МАГЭ», и пытаются это делать. Выходом мог бы стать долгосрочный финансовый план на пять-семь лет с финальной положительной рентабельностью за счет выполнения работ для нужд недропользователей с государственным участием и выхода с продукцией на международные рынки.

3. Любые пилотные проекты, в том числе и по выпуску геофизического оборудования для шельфовых проектов, крайне затратны в плане выпуска первой опытной и даже большой промышленной партии. Программы субсидирования, принятые Правительством России, крайне неэффективны вследствие условий их применения, когда для получения субсидии производитель должен взять на себя обязательство по продаже в будущем партии товара, в 10 раз превышающей партию, на которую дается субсидия. Такое правило не решает проблему высокой стоимости пилотной партии, и в результате выпускаемое оборудование становится дороже, чем зарубежные аналоги при сопоставимом качестве.

Сервисная компания, закупающая пилотное оборудование, несет огромные финансовые риски в сочетании с большими неоправданными затратами. Характерный пример — ОАО «МАГЭ», которое приобрело 2800 донных станций в составе геофизического комплекса «Краб» под проект для нужд ОАО «Газпром нефть Сахалин», рассчитанный на два года и позволяющий практически полностью окупить затраты на приобретение комплекса. Первый этап 2019 г. был успешно выполнен, но работы второго этапа на 2020 г. были отменены, и альтернативных работ на шельфах России в 2020 г. не планируется. В результате ОАО «МАГЭ» осталось с кредитной нагрузкой, а необходимые работы по модернизации оборудования оказались без финансирования. Выходом также мог бы стать долгосрочный проект по геофизическим работам для нужд недропользователей с государственным участием, который позволит как вывести оборудование на уровень конкурентоспособного на мировом рынке, так и поддержать сервисные компании, приобретающие это оборудование.

Мировой опыт показывает, что конкурентоспособными являются только те образцы базового геофизического оборудования, которые обеспечены всей цепочкой этапов создания и производства внутри конкретной компании. Хорошим примером является мировой лидер в производстве сейсмического оборудования компания «Sercel», являющаяся дочерним предприятием французской компании CGG (Compagnie Générale de Géophysique) и получающая от материнской компании всемерную поддержку на время создания и отладки оборудования. Флот компании CGG выполняет работы с опытным оборудованием на коммерческих проектах «спекулятивных» и мультиклиентных съемок, где «недостатки» оборудования компенсируются качественной обработкой материала, а стоимость производства оборудования покрывается за счет продаж материалов заинтересованным клиентам — нефтяным компаниям.

В ближайшие годы ОАО «МАГЭ» предстоит выполнить ряд основополагающих региональных работ, направленных на развитие сети опорных геолого-геофизических профилей России, включая Охотоморский нефтегазоносный бассейн. При этом не вызывает сомнений, что доля отечественного геофизического оборудования будет расти.

Литература

1. Казанин Г. С., Заяц И. В., Шкарубо С. И. и др. Региональные сейсморазведочные работы в арктических морях — основные результаты нового этапа и дальнейшие перспективы // Геология нефти и газа. — 2011. — № 6. — С. 90—98.
2. Kazanin G. S., Pavlov S. P., Tarasov G. A. и др. Locations of Nonstructural Hydrocarbon Traps on the Shelf of the Northern Barents Sea // Doklady Earth Sciences. — 2016. — Vol. 471. — Pt. 1. — P. 1113—1117. — DOI: 10.1134/S1028334X16110040.
3. Казанин Г. С., Шкарубо С. И., Заяц И. В., Павлов С. П. Новые данные о геологическом строении и нефтегазоносности российского шельфа // Инновац. вектор развития ОАО «МАГЭ». — Мурманск: Мурман. милья, 2017. — С. 63—73.
4. Казанин Г. С., Иванов Г. И., Казанин А. Г. и др. Экспедиция «Арктика-2014»: комплексные геофизические исследования в районе Северного полюса // Науч.-техн. сб. «Вести газ. науки». — 2015. — № 2 (22). — С. 92—97.
5. Инновационный вектор развития ОАО «МАГЭ»: Сборник статей / Науч. ред. Г. С. Казанин, Г. И. Иванов; ОАО «МАГЭ». — Мурманск: Мурман. милья, 2017. — 264 с.
6. Богоявленский В. И., Казанин Г. С., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: море Лаптевых // Бурение и нефть. — 2018. — № 5. — С. 20—27.
7. Bogoyavlensky V. I., Kazanin G. S., Kishankov A. V. Gas Saturation of Shallow Deposits of the Arctic and Subarctic Seas // 1st conference Marine Technologies

Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

2019, EAGE, Gelendzhik, 2019. — 5 p. — DOI: 10.3997/2214-4609.201901808.

8. Казанин Г. С., Иванов Г. И., Заяц И. В. и др. Инновационные технологии ОАО «МАГЭ» с целью повышения минерально-сырьевой базы арктического шельфа России // Инновационный вектор раз-

вития ОАО «МАГЭ»: Сборник статей / Науч. ред. Г. С. Казанин, Г. И. Иванов; ОАО «МАГЭ». — СПб., 2017. — С. 79—95.

9. Казанин Г. С., Казанин А. Г., Макаров Е. С. и др. Российское оборудование для работы на шельфе // Neftegaz.RU. — 2019. — № 11 (95). — С. 94—97.

Информация об авторах

Казанин Геннадий Семенович, доктор технических наук, генеральный директор, ОАО «МАГЭ» (183038, Россия, Мурманск, ул. Софьи Перовской, д. 26).

Казанин Алексей Геннадьевич, кандидат технических наук, генеральный директор, ОАО «МАГЭ» (183038, Россия, Мурманск, ул. Софьи Перовской, д. 26), e-mail: a.kazanin@mage.ru.

Базилевич Сергей Олегович, начальник отдела морской сейсморазведки, ОАО «МАГЭ» (183038, Россия, Мурманск, ул. Софьи Перовской, д. 26), e-mail: sergey.bazilevich@mage.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Казанин Г. С., Казанин А. Г., Базилевич С. О. Основные результаты геофизического изучения акваторий Арктики ОАО «МАГЭ», проблемы разработки и применения отечественных геофизических комплексов морской сейсморазведки // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 3 (39). — С. 99—111. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-99-111.

MAIN RESULTS OF GEOPHYSICAL STUDIES OF THE ARCTIC OFFSHORE AREAS AT JSC “MAGE”, DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION PROBLEMS OF DOMESTIC GEOPHYSICAL EQUIPMENT FOR MARINE SEISMIC SURVEY

[Kazanin G. S.], Kazanin A. G., Bazilevich S. O.

JSC Marine Arctic Geological Expedition (Murmansk, Russian Federation)

The article was received on May 24, 2020

Abstract

The authors characterize main results of geophysical studies, performed by JSC “MAGE” on the Arctic shelf and in the World Ocean waters. During regional seismic survey, the researchers studied the oil and gas potential of the seas and the deep waters of the Arctic Ocean. They identified several perspective local structures and prepared for drilling, performed a large volume of 3D seismic surveys. JSC “MAGE” actively participates in the development and testing of new technical equipment under the import substitution program. For the first time, the researchers performed the 3D-4C seismic survey in the Sea of Okhotsk at the Ayashskoye Field with national equipment “Krab”.

Keywords: Arctic, Arctic Ocean, Arctic-2014 expeditions, oil and gas potential, marine seismic survey, import substitution, recording equipment “Krab”.

References

1. Kazanin G. S., Zayats I. V., Shkarubo S. I., Pavlov S. P., Kirillova-Pokrovskaya T. A. Regional'nye seismorazvedochnye raboty v arkticheskikh moryakh — osnovnye rezul'taty novogo etapa i dal'neishie perspektivy. [Regional seismic exploration in the Arctic seas — the main results of a new stage and future prospects]. *Geologiya nefti i gaza*, 2011, no. 6, pp. 90—98. (In Russian).
2. Kazanin G. S., Pavlov S. P., Tarasov G. A., Schlykova V. V., Matishov G. G. Locations of Nonstructural Hydrocarbon Traps on the Shelf of the Northern Barents Sea. *Doklady Earth Sciences*, 2016, vol. 471, pt. 1, pp. 1113—1117. DOI: 10.1134/S1028334X16110040.
3. Kazanin G. S., Shkarubo S. I., Zayats I. V., Pavlov S. P. Novye dannye o geologicheskom stroenii i neftegazonosnosti rossiiskogo shel'fa. [New data on the geological structure and oil and gas potential of the Russian shelf]. *Innovats. vektor razvitiya OAO "MAGE"*. Murmansk, Murman. milya, 2017, pp. 63—73. (In Russian).
4. Kazanin G. S., Ivanov G. I., Kazanin A. G., Vasil'ev A. S., Makarov E. S. Ekspeditsiya "Arktika-2014": kompleksnye geofizicheskie issledovaniya v raione Severnogo polyusa. [Arctic-2014 expedition: comprehensive geophysical exploration in the North Pole region]. *Nauch. tekhn. sb. "Vesti gazovoi nauki"*, 2015, no. 2 (22), pp. 92—97. (In Russian).
5. Innovatsionnyi vektor razvitiya OAO "MAGE": Sbornik statei. *Nauch. red. G. S. Kazanin, G. I. Ivanov; OAO "MAGE"*. Murmansk, Murman. milya, 2017, 264 p. (In Russian).
6. Bogoyavlensky V. I., Kazanin G. S., Kishankov A. V. Opasnye gazonasyschennye ob"ekty na akvatoriyakh Mirovogo okeana: more Laptevykh. [Dangerous gas-saturated objects in the areas of the World Ocean: the Laptev Sea]. *Burenie i neft'*, 2018, no. 5, pp. 20—27. (In Russian).
7. Bogoyavlensky V. I., Kazanin G. S., Kishankov A. V. Gas Saturation of Shallow Deposits of the Arctic and Subarctic Seas. 1st conference Marine Technologies 2019, EAGE, Gelendzhik, 2019, 5 p. DOI: 10.3997/2214-4609.201901808.
8. Kazanin G. S., Ivanov G. I., Zayats I. V., Kazanin A. G., Makarov E. S., Shkarubo S. I., Pavlov S. P., Nechkhaev S. A. Innovatsionnye tekhnologii OAO "MAGE" s tsel'yu povysheniya mineral'no-syr'evoi bazy Arkticheskogo shel'fa Rossii. [Innovative technologies of JSC MAGE for increasing the mineral and raw material base of the Russian Arctic Shelf]. *Innovatsionnyi vektor razvitiya OAO "MAGE": Sbornik statei. Nauch. red. G. S. Kazanin, G. I. Ivanov; OAO "MAGE"*. St. Petersburg, 2017, pp. 79—95. (In Russian).
9. Kazanin G. S., Kazanin A. G., Makarov E. S., Bazilevich S. O., Kashik M. A. Rossiiskoe oborudovanie dlya raboty na shel'fe. [Russian equipment for work on the shelf]. *Neftegaz.RU*, 2019, no. 11 (95), pp. 94—97. (In Russian).

Information about the authors

Kazanin Gennadiy Semenovich, Doctor of Engineering Science, Director General, JSC "MAGE" (26, Sofia Perovskaya str., Murmansk, Russia, 183038).

Kazanin Aleksey Gennad'evich, PhD of Engineering Science, Director General, JSC "MAGE" (26, Sofia Perovskaya str., Murmansk, Russia, 183038), e-mail: a.kazanin@mage.ru.

Bazilevich Sergey Olegovich, Head of Marine Seismic, JSC "MAGE" (26, Sofia Perovskaya str., Murmansk, Russia, 183038), e-mail: sergey.bazilevich@mage.ru.

Bibliographic description

Kazanin G. S., Kazanin A. G., Bazilevich S. O. Main results of geophysical studies of the Arctic offshore areas at JSC "MAGE", development and implementation problems of domestic geophysical equipment for marine seismic survey. *Arctic: Ecology and Economy*, 2020, no. 3 (39), pp. 99—111. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-99-111. (In Russian).

© Kazanin G. S., Kazanin A. G., Bazilevich S. O., 2020