

## ЛИКВИДАЦИЯ РАЗЛИВОВ НЕФТИ ПОДО ЛЬДОМ В УДАЛЕННЫХ АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЯХ

Е. Е. Торопов, А. А. Шабалин, О. А. Мохов

АО «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин»  
(Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 10 апреля 2018 г.

*Рассмотрены действующие требования по ликвидации аварийных разливов нефти, особенности разливов нефти в арктических условиях, объемы разливов, а также возможности использования существующих средств ликвидации аварийных разливов нефти в случае разлива под сплошным льдом. Предложены технические средства для ликвидации разливов нефти под сплошным льдом в отдаленных арктических акваториях, базируемые на подводном носителе.*

**Ключевые слова:** аварийные разливы нефти, разливы нефти подо льдом, арктические условия, объемы разливов нефти, методы обнаружения разливов нефти, средства ликвидации разливов нефти, скиммеры, диспергенты, подводный носитель, подводный транспортно-монтажный и сервисный комплекс.

### Введение

В настоящее время перед Российской Федерацией встают задачи разведки и освоения арктических подводных месторождений углеводородов, находящихся под сплошным ледяным покровом.

Применительно к условиям освоения подледных арктических месторождений должна быть решена задача ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН). Данные месторождения, как правило, удалены от наземной инфраструктуры и мест базирования сил и средств ликвидации разливов нефти. Доступ к районам добычи затруднен ледяным покровом, и оперативное развертывание традиционных сил и средств ЛАРН представляется проблематичным.

В статье рассматриваются особенности природных условий Арктики, возможности сил и средств ЛАРН в случае разлива нефти подо льдом, а также предлагается комплекс технических средств ЛАРН подо льдом.

### Общая постановка задачи ликвидации разливов нефти

Обязательным условием эксплуатации установок и сооружений на континентальном шельфе, связанных с разведкой, добычей и транспортировкой углеводородов, является наличие заранее предус-

мотренных мер и средств предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов [1].

К причинам, вызывающим разливы нефти, относятся как техногенные, так и природные факторы.

Техногенные факторы — это различные воздействия на сооружение, вызванные выходом из строя оборудования, нарушениями производственного процесса, нарушениями условий эксплуатации и т. п.

Среди природных факторов, приводящих к авариям и катастрофам, можно выделить [4]:

- сильные ураганы и штормы;
- выбросы нефти и газа из залежей с аномально высокими пластовыми давлениями;
- выбросы газа из неглубоких природных залежей (газовых карманов);
- проседание морского дна при разработке залежей;
- слабые донные грунты и оползни;
- землетрясения.

Все эти факторы изучаются и учитываются в проектах обустройства морских месторождений. Однако величины связанных с ними природных воздействий носят вероятностный характер.

Техногенные и природные факторы могут «реализоваться» в различного рода авариях, приводящих к разливам нефти. В соответствии с требованиями [2] в практике нефтегазодобывающих компаний рассматриваются следующие причины разливов нефти [15—17]:

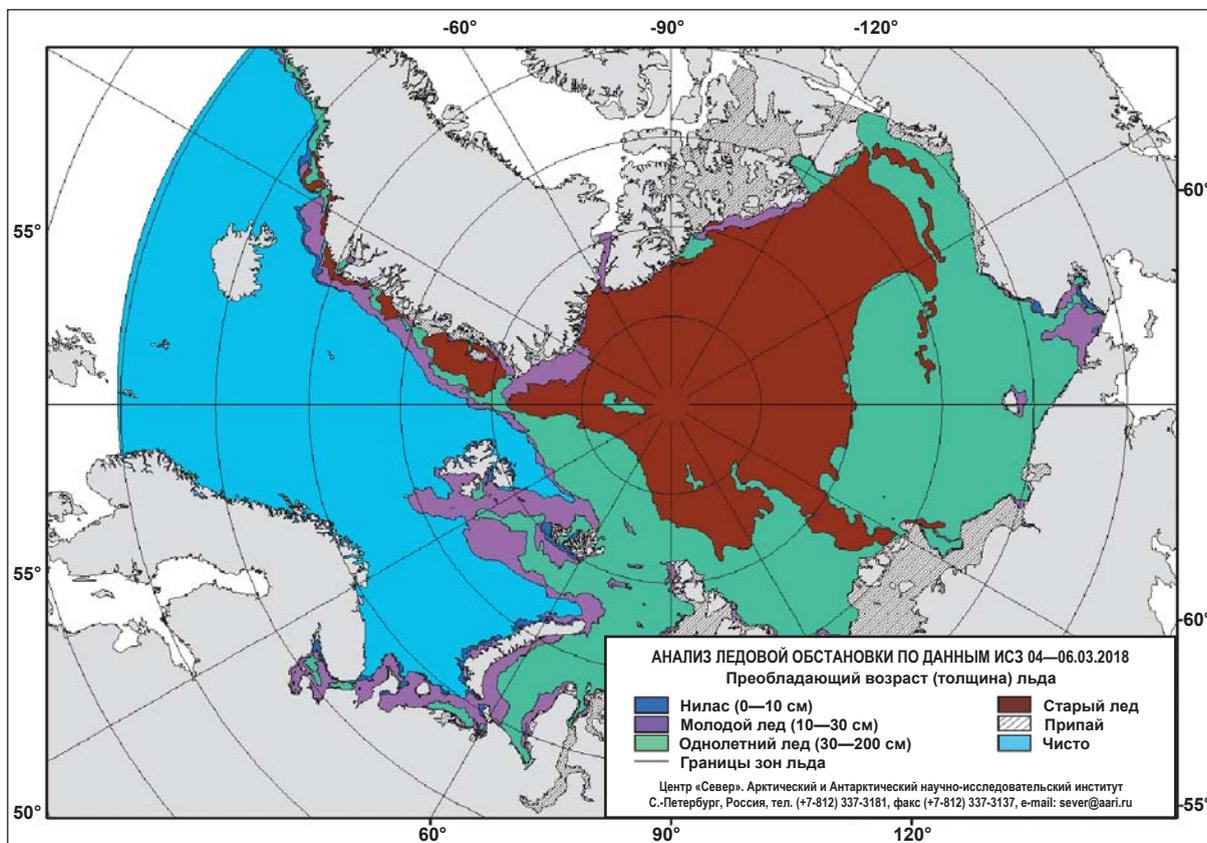


Рис. 1. Ледовая обстановка по данным искусственных спутников Земли на 4–6 марта 2018 г. [6]  
 Fig. 1. Ice situation based on satellite data as of 04–06.03.2018 [6]

- аварии подводных трубопроводов;
- аварии на скважине;
- аварийный выброс на скважине во время работ по техническому обслуживанию;
- одномоментный выброс на морском сооружении.

Согласно российскому законодательству [1; 2] требования, включающие данные об источниках и объемах разлива нефти и нефтепродуктов, организационно-технические мероприятия по ликвидации разливов и реабилитации загрязненных территорий и водных объектов, должны быть представлены в плане предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов.

Нормативно-технической документацией [3] определен состав сил и средств постоянной готовности, предназначенных для предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. Он ориентирован на использование в свободных ото льда акваториях, хотя и содержит положение о необходимости обеспечивать сбор нефти во льду сплоченностью до 90% и сбор нефти с поверхности льда.

Эти силы и средства должны включать:

- средства разгрузки нефти и нефтепродуктов с терпящего бедствие судна;
- средства локализации разливов нефти (боновые заграждения);

- средства сбора нефти и/или нефтепродуктов на открытой воде (скиммеры с необходимым оборудованием);
- средства приема собранной во время работ по ликвидации разливов нефти и нефтеводной смеси и передачи ее на специализированные суда или береговые сооружения (емкости для временного хранения нефти и нефтепродуктов);
- суда, обеспечивающие постановку бонов;
- рабочие суда с необходимым крановым оборудованием.

### Арктические условия и особенности нефтяных загрязнений

Арктические условия характеризуются рядом особенностей, которые необходимо учитывать при выработке подходов к ликвидации разливов нефти.

Главными и очевидными среди них являются наличие постоянного или присутствующего продолжительное время обширного ледяного покрова (рис. 1), низкие, в том числе отрицательные, температуры воздуха и низкие температуры воды (табл. 1), продолжительные периоды полярных ночей, удаленность от береговой инфраструктуры.

Эти факторы затрудняют развертывание и эксплуатацию надводных технических средств в арктических условиях или препятствуют им.

Таблица 1. Ледовые, океанографические и гидрометеорологические условия Арктики (по данным [5])

Параметр	Баренцево море	Печорское море	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море	Чукотское море
Продолжительность ледового периода, сут	Круглый год	240—270	От 280 до круглогодичного	Круглый год	Круглый год	От 180 до круглогодичного
Толщина ровного однолетнего льда, м	0,7—1,5	0,7—0,9	1,4—1,8	1,4—1,8	1,5—2,1	0,1—2,0
Толщина ровного двухлетнего и многолетнего льда, м	2,5—3,0	Отсутствует	1,8—2,2 *	2,4—3,2	2,4—3,2	1,8—3,9
Скорость дрейфа льда в море, м/с	0,4—0,7	Нет данных	0,2—0,3 **	0,08—0,15	0,08—0,15	0,1—0,2
Средняя температура воды у поверхности летом, °С	1—9	6—8	0,5—3,5	0—2	0—2	1—5 ***
Максимальная скорость течения у поверхности, м/с	0,7	1,3	0,0—1,2	0,7—1,1	0,7—1,1	0,15—0,20 ***
Максимальная температура воздуха, °С	9	10	32	33	30	30
Минимальная температура воздуха, °С	-39	-20	-48	-52	-51	-50

\* Данные по северо-восточному сектору Карского моря.

\*\*\* Данные для юго-западного региона Чукотского моря.

\*\* Среднегодовое значение скорости дрейфа льда.

Вместе с тем низкие температуры и ледяной покров затрудняют распространение нефти. В условиях низких температур разлитая в морской воде нефть имеет увеличенную вязкость, вследствие

чего может быть существенно ограничена ее возможность растекаться подо льдом. Варианты локализации нефти и нефтепродуктов во льду представлены на рис. 2 [7].



Рис. 2. Варианты локализации нефти в ледяном покрове [7]  
Fig. 2. Variants of oil confinement in ice cover [7]

Таблица 2. «Проектные» причины и объемы разливов нефти на платформах Лун-А, ПА-А, ПА-Б и МЛСП «Приразломная»

Платформа	Причина разлива	Примерный максимальный объем разлива	Тип продукта
Лун-А	Авария на подводных трубопроводах	1557 м <sup>3</sup>	Сырая нефть, конденсат
	Авария на нефтяной скважине	1765 м <sup>3</sup>	Сырая нефть
	Авария на газоконденсатной скважине	2000 м <sup>3</sup>	Конденсат
	Аварийный выброс на газоконденсатной скважине во время работ по техническому обслуживанию	5564 м <sup>3</sup> /день (устранение повреждения колонны за 8 дней)	Конденсат
ПА-А, ПА-Б	Разлив сырой нефти на платформе	1750 м <sup>3</sup>	Сырая нефть
	Мгновенный выброс сырой нефти с морской платформы	1750 м <sup>3</sup>	Сырая нефть
	Авария на подводном трубопроводе	6659 м <sup>3</sup>	Сырая нефть
МЛСП «Приразломная»	Потеря контроля над скважиной	1500 т	Сырая нефть
	Поломка системы налива на МЛСП	19,4 т	Сырая нефть
	Авария на танкере	10000 т	Сырая нефть
	Авария при разгерметизации отсека нефтехранилища	8000 т	Сырая нефть

### Объемы и размеры возможных разливов

Для морских поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин максимальные расчетные объемы разливов нефти согласно [2] должны соответствовать потерям от одной фонтанирующей скважины с максимальным дебитом в течение трех суток. Однако причинами наибольших разливов нефти могут быть аварии на подводных трубопроводах, морских хранилищах нефти и на танкерах, расчетные величины которых также нормированы.

В качестве примера рассматриваемых объемов разливов можно привести величины, предусмотренные для платформ «Лунская-А» (Лун-А) [16], «Пильтун-Астохская-А, Б» (ПА-А, ПА-Б) [15] и морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) «Приразломная» [17] (табл. 2).

По представленным данным объем загрязнения не превышает нескольких тысяч кубометров, а площадь загрязнения при отсутствии течения и дрейфа льда — несколько квадратных километров.

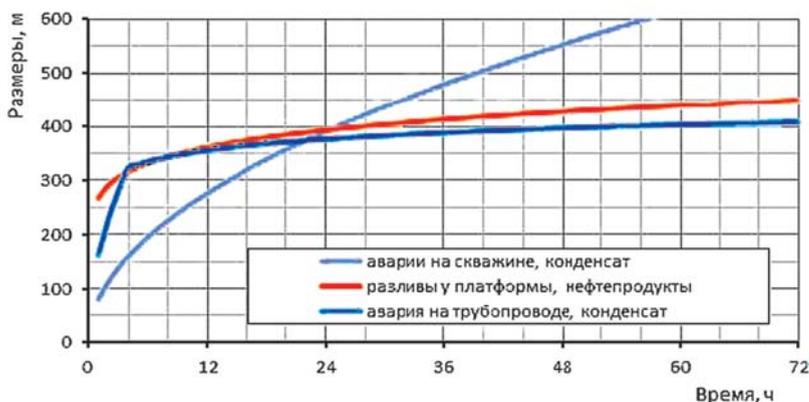


Рис. 3. Динамика изменения размеров подледного загрязнения при максимальных расчетных разливах (ЛУН-А) [18]

Fig. 3. Dynamic pattern of under-ice contamination sizes at maximum design spills (LUN-A) [18]

На рис. 3 приведены размеры подледных расчетных разливов нефти для лицензионного участка Лунское в случае неподвижного льда, отсутствия течений и гладкой нижней поверхности льда [18].

В работе [9] протяженность разлива подо льдом также оценивается в сотни метров.

### Методы обнаружения и определения границ разлитой подо льдом нефти

Первоначальную информацию о разливе нефти может дать оборудование, непосредственно контролирующее или способное контролировать утечки нефти. Опираясь на эти данные и зная текущие природные условия, необходимо определить объем разлива, район, где он произошел, и параметры движения пятна загрязнения.

Уточнить положение пятна загрязнения можно с помощью уже имеющихся методов. Так, согласно [7; 10] для обнаружения нефти, разлитой подо льдом и вмёрзшей в лёд, могут использоваться:

- ледовые керны;
- георадары наземного (на льду) и воздушного базирования;
- гидролокационные станции подводного базирования;
- собаки.

Наилучшие результаты можно получить методами дистанционного зондирования — с помощью георадаров и гидролокационных станций [7].

Гидроакустические средства эффективны для поиска нефти подо льдом и менее эффективны, если нефть успела вмёрзнуть в лёд. Носителем гидроакустических средств могут выступать подводные аппараты, обслуживающие объекты обустройства подводных месторождений.

Георадары дают сравнительно хорошие результаты при поиске нефти под гладким однолетним льдом, а также нефти, вмёрзшей слоями в лёд. Эффективность георадаров снижается, если нефть разлита под деформированными паковыми льдами или если она проникла в лёд вследствие диффузии. Носителями георадаров могут быть авиационные средства и подводные аппараты.

Особое значение при прогнозировании района загрязнения и движения нефтяного пятна имеет моделирование разливов нефти, учитывающее актуальные природные условия, а также воздействия на загрязнение со стороны сил и средств ЛАРН. Такое моделирование позволит более уверенно планировать операцию по ликвидации разлива, обходиться минимальным количеством сил и средств и располагать прогнозами эффективности предприни-

маемых действий. Наиболее адекватные исходные данные для моделирования разлива нефти может предоставить развернутая в месте добычи и транспортировки нефти система мониторинга природных условий.

### Способы ликвидации разливов нефти

Ликвидация разливов нефти осуществляется за счет:

- естественного (природного) разложения, к которому относят испарение нефти, растворение в морской воде, биоразложение;
- сбора нефти механическими способами (с помощью боновых заграждений, скиммеров и т. д.);
- сжигания нефти;
- использования сорбентов;
- использования диспергентов, которые приводят к ускоренному рассеиванию нефти и тем самым существенно способствуют ликвидации разлива естественным способом.

На практике используют комбинации указанных способов.

Перечисленные способы сбора загрязнений либо воздействия на них наиболее эффективны, когда разлив произошел на открытой воде или хотя бы с ограниченным присутствием льда (в консолидации до пакового) [8].

По данным [9], в ледовых условиях на полевых испытаниях удавалось собирать 30—50% разлитой нефти. В реальных условиях собирается до 30% разлитой нефти при среднем показателе 10—15%.

Аналогичная информация сообщается в данных компании «Сахалин Энерджи» [18]: в ледовых условиях механические средства сбора нефти, специализированные для работы во льдах, эффективны при сплоченности льда до 80%, диспергенты — при сплоченности до 30%. В сплошном льду все указанные средства теряют эффективность, а диспергенты неэффективны уже при 50%-ной сплоченности льда и при низкой температуре морской воды.

В настоящее время в целях ЛАРН в ледовых условиях компании-операторы располагают следующим набором технических средств, доставляемых на вспомогательных судах, в том числе ледового класса: «обычными» бонами и скиммерами, которые можно использовать во льду с низким уровнем сплоченности; арктическими скиммерами (рис. 4) на судах ледового класса; специальными средствами, в том числе ковшовыми нефтесборщиками (рис. 5); навесными системами сбора нефти из-под льда



Рис. 4. Arctic Skimmer LAS 125 компании «Lamor» [21]  
 Fig. 4. Arctic Skimmer LAS 125 of company “Lamor” [21]



Рис. 5. Сбор со льда разливов нефтепродуктов в Финском заливе [9] с помощью ковшового нефтесборщика компании «Lamor» [19]  
Fig. 5. Collection from ice of oil product spills in the Gulf of Finland [9] using oil recovery bucket of company “Lamor” [19]



Рис. 6. Устройство Sternmax для сбора нефти из-под льда компании «Lamor» [20]  
Fig. 6. Sternmax device of company “Lamor” for oil collection from under ice [20]

(рис. 6); обогреваемыми емкостями для хранения нефти; оборудованием для сжигания нефти; запасами диспергентов и т. д.

Интересно, что устройства, представленные на рис. 4—6, имеют оборудование для подачи горячей воды.

Кроме того, существует ряд предложений по ликвидации разлива нефти непосредственно подо льдом — патенты RU 2572765 C1 [11], SU 1765292 A1 [12], RU 2535394 [13], которые объединяет следующее:

- для удаления нефти необходимо вскрытие льда — создание лунок, колодцев, прорубей;
- часть оборудования размещается подо льдом или в ледяном колодце (лунке), другая часть — на льду;
- к месту разлива оборудование необходимо доставить в ограниченный срок — такой, чтобы нефть не приобрела большую вязкость.

Поэтому наиболее приемлемым представляется их использование во внутренних водах (реках и озерах) или в прибрежных морских акваториях при сравнительно небольших объемах загрязнений.

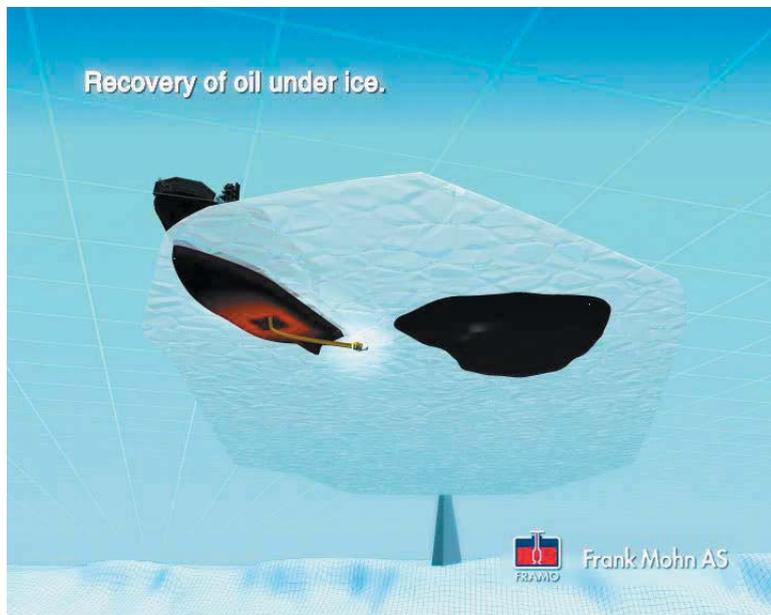


Рис. 7. Предложение компании «Framo» по ЛАРН подо льдом [14]  
 Fig. 7. Proposal of company “Framo” for recovery of oil under ice [14]

Интерес к проблематике ликвидации разливов нефти подо льдом обозначила компания «Framo» («Frank Mohn AS»). Ее предложение (см. рис. 7) [14] — непосредственно откачивать нефть из-под льда через гибкий шланг с помощью направляемого в сторону разлива устройства, — очевидно, основано на опыте разработки оборудования по откачке нефти из поврежденных танкеров.

Все перечисленные способы, кроме предложенного компанией «Framo», нацелены на ликвидацию разливов нефти не в сплошном льду. А доставка (тем более своевременная доставка) оборудования ЛАРН судами в районы тяжелых льдов проблематична в принципе.

**Задачи, решаемые при ликвидации разливов нефти подо льдом**

Ледовые условия для эксплуатируемых в настоящее время морских нефтегазовых сооружений действуют в течение ограниченного промежутка времени — не более нескольких месяцев в году. Вследствие этого, а также из-за сложности самой проблемы ликвидации аварийных разливов нефти подо льдом данная задача отодвигается на второй план как в части детальности проработки нормативных требований, так и в части используемых технических средств. Однако чем дальше мы продвигаемся в Арктику, тем все более насущным становится вопрос ликвидации аварийных разливов нефти подо льдом.

В случае аварийного разлива нефти в условиях сплошного льда будет необходимо собирать или нейтрализовать фрагментированные нефтяные загрязнения на площади до нескольких квадратных

километров<sup>1</sup>. Форма зоны загрязнения будет определяться скоростью течения и дрейфом льда (в целом это будет полоса шириной до нескольких сотен метров и суммарной длиной до нескольких километров). Нефть будет находиться в вязком состоянии, располагаться в нижних слоях льда и, возможно, будет покрыта ледяной коркой.

В соответствии с действующими требованиями в ходе ликвидации разлива нефти должны быть решены следующие задачи:

- определены объемы и границы разлитой нефти;
- мобилизованы и доставлены к месту разлива силы и средства ликвидации разлива;
- разлитая нефть должна быть локализована;
- разлитая нефть должна быть собрана и/или обработана должным образом;
- собранная нефть и загрязненная вода должны быть доставлены к месту утилизации;
- силы и средства, участвующие в ликвидации разлива нефти, должны быть демобилизованы.

В условиях толстого сплошного льда и удаленности месторождений возникают дополнительные сложности для существующих технических средств ЛАРН:

- используемые в настоящее время средства обнаружения больше ориентированы на поиск разливов нефти на открытой воде;
- ледовые условия затрудняют оперативное развертывание средств ЛАРН;
- отсутствуют средства локализации разлива нефти подо льдом;
- отсутствуют средства сбора нефти под толстым льдом;
- хранение и вывоз собранной нефти в настоящее время могут быть организованы только с привлечением ледоколов или судов ледового класса.

Решение перечисленных задач должно осуществляться как в направлении совершенствования нормативно-правовой базы, так и путем развития специализированных технических средств ЛАРН.

Так, первым шагом в части нормативно-правового регулирования вопросов ЛАРН для тяжелых ледовых

<sup>1</sup> Объем устраняемого загрязнения может быть существенно снижен либо даже вопрос ЛАРН может быть решен, если на подводном месторождении предусмотреть оборудование, позволяющее вводить диспергент в разливаемую нефть в непосредственной близости от источника утечки [8; 22]. В ледовых условиях ограничениями для применения данного способа будут глубина места утечки, скорости подводных течений, а также необходимость условий, побуждающих нефть разбиваться на мелкие капли (т. е. необходимо силовое воздействие, аналогичное волнению моря или потока воды от винтов судна).

условий могло бы стать введение требования о разработке и обосновании задач и методов ЛАРН, учитывающих специфику природных условий и способ освоения месторождения углеводородов. Далее, по мере совершенствования специализированных средств ЛАРН, в нормативно-правовые акты можно было бы включать требования к составу и характеристикам конкретных предписываемых к использованию технических средств и сил ЛАРН.

Таким образом, для арктических морей, где водная поверхность над месторождениями покрыта тяжелыми льдами, а сами подводные месторождения удалены от развитой инфраструктуры, при сборе нефти из-под льда должны быть применены новые подходы и созданы принципиально новые технологии и технические средства.

### Облик комплекса ликвидации разливов нефти подо льдом

Анализ природных условий, географических особенностей арктического региона, а также характера нефтяных загрязнений подо льдом приводит к следующим основным требованиям к комплексу ликвидации аварийного разлива нефти:

- для обнаружения, сбора загрязнений, а также для хранения и транспортировки собранной нефти и загрязненных вод необходимо использовать чисто подводные технические средства;
- сбор нефти из-под льда необходимо осуществлять путем ее откачивания при возможном использовании гидроструйных установок;
- в удаленные акватории с глубинами более 150—200 м комплекс технических средств ЛАРН должен доставляться с применением подводного носителя.

Использование подводных методов обнаружения и уточнения границ подледных разливов нефти с помощью гидролокаторов и георадаров позволит получить наиболее адекватную картину загрязнения.

Относительно исполнительных устройств очистки льда от нефти можно отметить следующее. Вследствие нерегулярной формы подводной поверхности льда очистка устройствами в виде щеток или фрез, применяемых на надводной поверхности льда, представляется неэффективной. Более того, нефть может оказаться вмёрзшей в лед.

Если непосредственная откачка нефти из-под льда будет затруднена, наиболее приемлемым может быть смыв нефти подогретой водой с температурой, достаточной для снижения вязкости нефти и, возможно, растапливания льда и освобождения вмёрзших в него загрязнений. Подробнее об этом сказано ниже.

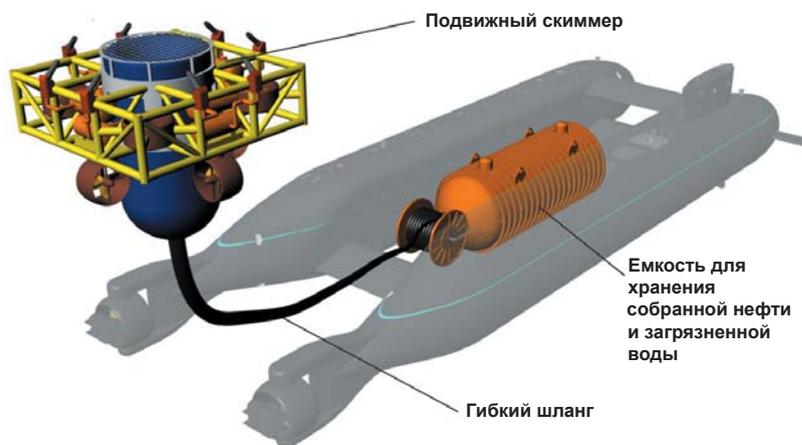


Рис. 8. Оборудование комплекса ликвидации разливов нефти подо льдом  
Fig. 8. Equipment complex for recovery of oil spills under ice

В качестве примера использования подогретой воды можно привести нефтесборщики компании «Lamog» [20; 21], обладающие возможностью осуществлять ее подвод в процессе сбора загрязнений.

Подводный носитель способен обеспечить доставку и развертывание подводных средств ЛАРН.

Данные средства (рис. 8) могут включать:

- подвижный скиммер (устройство для сбора нефти);
- гибкий шланг, оборудованный средствами электроподогрева, а также навигации (как минимум гидроакустическими маяками-ответчиками);
- емкость для хранения собранной нефти и загрязненной воды, насосное оборудование, оборудование сепарации нефти.

В качестве примера подводного носителя оборудования ЛАРН может выступать подводный транспортно-монтажный и сервисный комплекс (ПТМСК) (рис. 9), спроектированный в АО «ЦКБ МТ «Рубин» в рамках работ по проекту «Айсберг» (заказчик — Фонд перспективных исследований).

**Модель использования.** Предлагаемый комплекс ЛАРН возможно использовать следующим образом. Информация о разливе нефти может быть получена от системы управления оборудованием, установленным на месторождении. Это могут быть как данные непосредственно о наличии нефтепродуктов в морской среде, так и результаты анализа величин расходов, давлений и других параметров перемещаемых углеводородов.

Анализ данных мониторинга района разведки или добычи углеводородов (в том числе актуальной гидрологической, ледовой и метеорологической информации) предоставит предварительную информацию о местоположении разлива. Она может быть уточнена и дополнена автономными подводными аппаратами, осуществляющими контроль и сервисное обслуживание объекта нефтегазодобычи.

В зависимости от выявленных объемов и характера разлива должен быть уточнен состав сил и средств для его ликвидации. Их доставка в район

**Основные характеристики ПТМиСК:**

- размерения (Д×Ш×В)  
100,7×35×16,5 м;
- длина транспортировочной зоны  
48,6 м;
- глубина погружения  
до 400 м;
- скорость в режиме перехода  
7 уз.

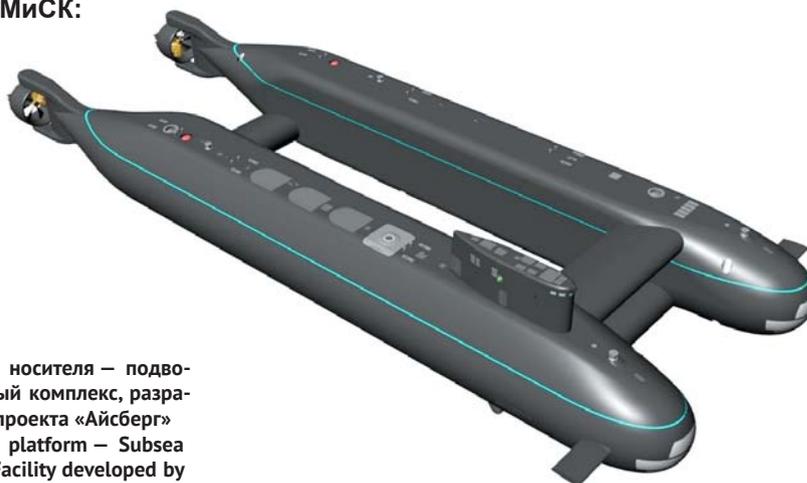


Рис. 9. Возможный вариант подводного носителя – подводный транспортно-монтажный и сервисный комплекс, разработанный АО «ЦКБ МТ «Рубин» в рамках проекта «Айсберг»  
Fig. 9. Prospective variant of underwater platform – Subsea Transportation & Installation And Service Facility developed by JSC CDM ME “Rubin” within the frames of the Iceberg Project

загрязнения возможна в срок от 5 до 15 сут в зависимости от удаленности места разлива от пункта базирования ПТМиСК и средств ликвидации разливов.

Позиционирование оборудования ЛАРН относительно места загрязнения выполняется средствами ПТМиСК.

Доразведка границ разлива нефти и уточнение пространственного распределения объемов разлитой подо льдом нефти могут быть выполнены подводными аппаратами (телеуправляемыми или автономными).

К области разлива высылается базируемый на ПТМиСК подвижный скиммер, соединенный гибким шлангом с емкостью для хранения собранной нефти, размещенной в транспортировочной зоне ПТМиСК.

Со скиммера в направлении загрязненного льда при необходимости подаются потоки теплой воды, которые подтапливают и размывают нижний за-

грязненный слой льда. Нефть и загрязненная вода засасываются в приемное устройство скиммера и по гибкому шлангу подаются в емкость для хранения собранной нефти. В данной емкости загрязненная нефтью вода проходит очистку. Очищенная вода повторно используется скиммером для смыва нефтяных загрязнений с нижних слоев льда.

После выполнения необходимых операций по удалению загрязнений со скиммера может быть осуществлена подача в район очистки диспергентов.

Далее комплекс устанавливается в походное положение на ПТМиСК и транспортируется к месту выгрузки собранных загрязнений.

**Особенности используемого оборудования.** В походном положении все оборудование размещается на ПТМиСК. Развертывание комплекса ликвидации разливов нефти осуществляется в подводном положении — подо льдом.

Оборудование сепарации нефти, входящее в состав комплекса ЛАРН, позволяет минимизировать объем емкости для хранения собранной нефти. В состав оборудования данной емкости входят средства обогрева, позволяющие хранить и перемещать (перекачивать) вязкие нефть и нефтепродукты.

Одной из основных задач при разработке системы смыва нефти подогретой водой является уменьшение тепловых потерь на пути струи подогретой воды ко льду. Потери тепла в нашем случае преимущественно связаны с турбулентным теплообменом в воде, способным в разы умень-

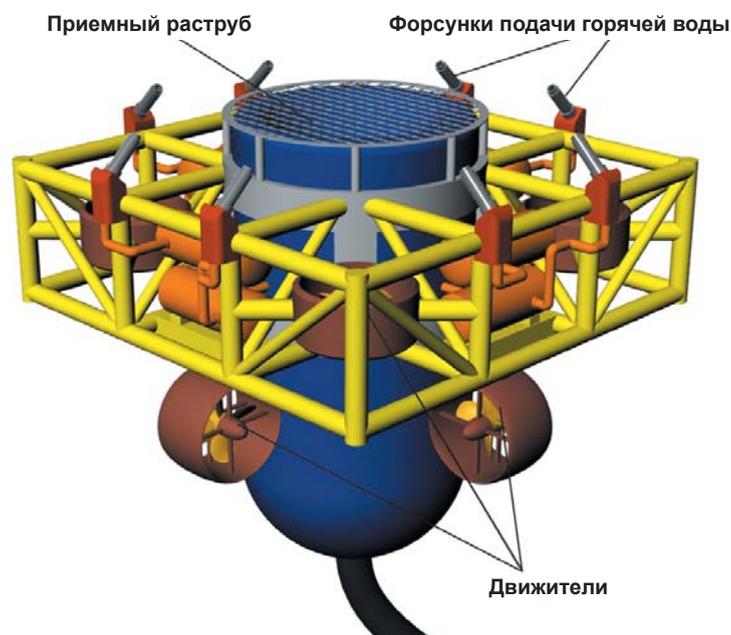


Рис. 10. Скиммер, используемый комплексом ликвидации разливов нефти подо льдом  
Fig. 10. Skimmer used by the complex equipment intended for recovery of oil under ice

шить температуру в струе [23; 24]. Соответствующие оценки и определение подходов проектирования можно выполнить в рамках теории струйных течений, конкретнее — класса задач, известного как «затопленные струи» [25; 26]. Наиболее значимая рекомендация, вытекающая из упомянутых подходов, — приблизить сопло подающего воду устройства на минимально возможное расстояние к загрязненному льду. Среди ограничений при этом будут управляемость скиммера, способность определять рельеф подводной части льда, производительность скиммера, стоимость и др.

Предлагаемый скиммер (рис. 10) представляет собой подвижный телеуправляемый аппарат, служащий для непосредственного сбора разлитой подо льдом нефти, а также для смыва нефти со льда и приема воды, загрязненной нефтью.

Подогретые массы воды вместе с загрязнениями будут засасываться в приемное устройство скиммера. Поэтому часть тепла, «потерянного» вследствие турбулентного теплообмена, может быть использована для уменьшения электрической мощности, расходуемой на обогрев шлангокабеля, по которому загрязненная вода и нефтепродукты будут транспортироваться в емкость для сбора нефти.

Подогретая вода при смыве загрязнений, а также само наличие струи воды, выступающей как возмущающее воздействие, делает возможным использование диспергентов. Однако вопрос их применения требует дополнительного изучения.

Одной из особенностей, вытекающей из наличия на ПТМиСК ядерной установки и выполнения работ по ЛАРН в режиме одержания судна без хода (из движителей будут использоваться только на подруливающие устройства), является наличие больших резервов электрической мощности, которую может использовать предлагаемый комплекс ЛАРН. Хотя чрезмерными потребности в электроэнергии не представляются.

## Выводы

1. В настоящее время отсутствуют средства ликвидации аварийных разливов нефти подо льдом в удаленных акваториях арктических морей.
2. Ликвидацию аварийных разливов нефти подо льдом в удаленных акваториях целесообразно осуществлять полностью подводными техническими средствами.
3. Основой комплекса ЛАРН может стать подвижный скиммер, осуществляющий сбор нефти, смыв нефтяных загрязнений с подводной поверхности льда, забор отработанной воды и загрязнений и передачу их в емкость хранения, размещаемую на подводном носителе, а также при необходимости подачу диспергентов.
4. Оборудование для ликвидации аварийных разливов нефти может размещаться и доставляться на подводном транспортно-монтажном и сервисном комплексе, разработанном АО «ЦКБ МТ «Рубин».

## Литература

1. Федеральный закон «О континентальном шельфе Российской Федерации» от 30 ноября 1995 г. № 187-ФЗ (ред. от 2 мая 2015 г.).
2. Постановление Правительства РФ «Об организации предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации» от 14 ноября 2014 г. № 1189 (вместе с «Правилами организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации»).
3. Приказ Минтранса России «Об утверждении Требований к составу сил и средств постоянной готовности, предназначенных для предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации» от 6 февраля 2017 г. № 33.
4. Богоявленский В. И. Чрезвычайные ситуации при освоении ресурсов нефти и газа в Арктике и Мировом океане // Арктика: экология и экономика. — 2014. — № 4 (16). — С. 48—59.
5. ГОСТ Р ИСО 19906: 2010. Нефтяная и газовая промышленность — арктические морские сооружения. — Прил. Б: Информация по регионам. — URL: <https://www.freedocs.xyz/view-docs.php?pdf=465999342>.
6. Анализ ледовой обстановки по данным искусственных спутников Земли на 04—06.03.2018 г. / ААНИИ. — URL: <http://www.aari.ru/resources/d0015/arctic/gif.ru/2018/20180306.gif>.
7. Поттер С., Бьюст И., Трудель К. и др. Ликвидация разливов нефти на арктическом шельфе / Компания «Shell». — URL: <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/rus/downloads/pdf/wpc/new-oil/osr-book-rus.pdf>.
8. Предотвращение и ликвидация морских разливов нефти в арктических условиях и обеспечение готовности к чрезвычайным ситуациям / ExxonMobil. — URL: [https://cdn.exxonmobil.com/~media/russia/files/arctic/arctic-osr\\_russian-final.pdf](https://cdn.exxonmobil.com/~media/russia/files/arctic/arctic-osr_russian-final.pdf).
9. Павленко В. И., Муангу Ж., Коробов В. Б., Лохов А. С. Актуальные проблемы предотвращения, ликвидации разливов нефти в Арктике и методы оценки экологического ущерба прибрежным территориям // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 3 (19). — С. 4—11.
10. Броже В. Обзор наилучших практик по ликвидации нефтяных разливов в Арктике / Шелл Эксплорэйшн энд Продакшн Компани. — URL: [https://www.imetom.ru/ru/conf/2013/06112013/BROJE\\_06112013.pdf](https://www.imetom.ru/ru/conf/2013/06112013/BROJE_06112013.pdf).
11. Способ сбора нефти из-под ледяного покрова водоема: Пат. RU 2 572 765 С1 / Мингажев А. Д., Криони Н. К., Давлеткулов Р. К. — Опубл. 27.02.2004.

12. Логиновский В. И., Федоров В. А., Нугаев Р. Я., Минабаев Ю. М. Устройство для сбора нефти из-под ледяного покрова водоема: Изобретение SU 1765292 A1.
13. Устройство для сбора нефти подо льдом: Пат. RU 2 535 394 C1 / Попов С. Н., Морова Л. Я., Герасимов А. И., Ефимов С. Е. — Оpubл. 08.07.2013.
14. TransRec System / Frank Mohn AS. — URL: [https://www.norwep.com/content/download/20071/125821/version/1/file/Frank+\\_PDF\\_018.+Offshore+Oil+Sp.pdf](https://www.norwep.com/content/download/20071/125821/version/1/file/Frank+_PDF_018.+Offshore+Oil+Sp.pdf).
15. Краткий обзор корпоративного плана по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов для Пильтун-Астохского месторождения. 2011 / Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд. — URL: <http://www.sakhalinenergy.ru/media/937672b3-2da6-4033-a4ec-6fbe5d78424d.pdf>.
16. Краткое изложение плана по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов для Лунского месторождения. Ноябрь 2012 / Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд. — URL: <http://www.sakhalinenergy.ru/media/6e5dba77-01f2-4a54-bcbb-f37bfa99f8a3.pdf>.
17. Реферат плана по предупреждению и ликвидации разливов нефти в оперативной зоне ответственности морской ледостойкой стационарной платформы «Приразломная» / ООО «Газпром нефть шельф». — СПб., 2013. — URL: <http://shelf.gazprom-neft.ru/upload/referat-po-planu-LARN.pdf>.
18. План по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. Лицензионный участок Лунское. — Кн. 2: Приложения к Плану ЛРН / Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд. — [Б. м.], 2017. — URL: <http://www.sakhalinenergy.ru/media/library/ru/Environmental/OilSpillResponse/ru5.6.pdf>.
19. Ковшовый нефтесборщик Lamor (LRB) / Lamor Corporation. — URL: <http://global.lamor.com/ru/>.
20. Sternmax / Lamor Corporation. — URL: <https://www.lamor.com/wp-content/uploads/2014/04/369263.pdf>.
21. Arctic Skimmer LAS 125 / Lamor Corporation. — URL: <https://www.lamor.com/wp-content/uploads/2011/03/223086.pdf>.
22. Броже В. Современные технологии ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в морской среде / Шелл Эксплорэйшн энд Продакшн Компани. — URL: <http://new.groteck.ru/images/catalog/32772/ea9de34a3b4bd6f81b973d6f40bc5ac.pdf>.
23. Гималтдинов И. К., Кильдибаева С. Р., Ахмадеева Р. З. Расчет теплофизических и кинетических параметров затопленной струи // Фундамент. исслед. — 2013. — № 11-7. — С. 1323—1327.
24. Кильдибаева С. Р., Гималтдинов И. К. Динамика многофазной затопленной струи с учетом образования гидратов // Вестн. Тюмен. гос. ун-та. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. — 2015. — Т. 1, № 3. — С. 92—101.
25. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. — М.: ЭКОЛИТ, 2011. — 720 с.
26. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.

### Информация об авторах

**Торопов Евгений Евгеньевич**, кандидат технических наук, главный конструктор, Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин» (191119, Россия, Санкт-Петербург, ул. Марата, д. 90), e-mail: Evgeny.Toropov@ckb-rubin.ru.

**Шабалин Андрей Алексеевич**, заместитель главного конструктора, Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин» (191119, Россия, Санкт-Петербург, ул. Марата, д. 90), e-mail: Andrey.Shabalin@ckb-rubin.ru.

**Мохов Олег Александрович**, главный специалист, Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин» (191119, Россия, Санкт-Петербург, ул. Марата, д. 90), e-mail: Oleg.Mokhov@ckb-rubin.ru.

### Библиографическое описание данной статьи

Торопов Е. Е., Шабалин А. А., Мохов О. А. Ликвидация разливов нефти подо льдом в удаленных арктических акваториях // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 4 (32). — С. 30—42. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-4-30-42.

## UNDER ICE OIL SPILL RESPONSE IN THE REMOTE ARCTIC WATERS

Toropov E. E., Shabalin A. A., Mokhov O. A.

Central Design Bureau for Marine Engineering “Rubin” (St. Petersburg, Russian Federation)

The article was received on April 10, 2018

### Abstract

The current Russian requirements for oil spill response (OSR), including the necessary composition of OSR forces and means, as well as data of operating companies on the causes and volumes of oil spills taken into account when preparing OSR plans, are considered.

Existing OSR means demonstrate their effectiveness both in ice-free water areas and in waters covered with ice cohesiveness up to 80%. With increasing ice cohesiveness, the effectiveness of these means decreases.

The features of oil spills under solid ice are described. It is noted that the pollution area will be significantly less than when spilled in open water. Solid ice cover and an increase in oil viscosity at low temperatures will naturally restrain the spill boundaries.

The general picture of spills can be obtained by means of computer modeling, using current information on natural conditions.

Under-ice oil spill detection and determination of spill boundaries can be arranged both by means provided for at hydrocarbon exploration and production facilities and by means installed on the specialized carriers — Autonomous Unmanned Underwater Vehicles (sonar detection equipment and ground-penetrating radars) and on aircraft carries (ground-penetrating radars).

At present, there are no OSR means that could be used in remote waters covered with solid ice.

To ensure OSR during the development of hydrocarbon deposits in these waters, an engineering facility is proposed based on an underwater carrier and consisting of a movable skimmer, a flexible hose, a reservoir for storing collected oil and polluted water, as well as other equipment.

**Keywords:** emergency oil spills, under-ice oil spills, Arctic conditions, volumes of oil spills, oil spill detection methods, oil spill response means, skimmers, dispersants, underwater platform, Subsea Transportation & Installation and Service Facility.

## References

1. Federal'nyi zakon "O kontinental'nom shel'fe Rossiiskoi Federatsii" ot 30 noyabrya 1995 g. № 187-FZ (red. ot 02.05.2015). [Federal Law of November 30, 1995, no. 187-FZ (Rev. of May 02, 2015) "About the continental shelf of the Russian Federation"]. (In Russian).
2. Postanovlenie Pravitel'stva RF "Ob organizatsii preduprezhdeniya i likvidatsii razlivov nefiti i nefteproduktov na kontinental'nom shel'fe Rossiiskoi Federatsii, vo vnutrennikh morskikh vodakh, v territorial'nom more i prilozhashchei zone Rossiiskoi Federatsii" ot 14 noyabrya 2014 g. № 1189 (vmeste s "Pravilami organizatsii meropriyatii po preduprezhdeniyu i likvidatsii razlivov nefiti i nefteproduktov na kontinental'nom shel'fe Rossiiskoi Federatsii, vo vnutrennikh morskikh vodakh, v territorial'nom more i prilozhashchei zone Rossiiskoi Federatsii"). [Resolution of the Government of the Russian Federation of November 14, 2014, No. 1189 "About the Arrangement of Oil and Oil Product Spill Prevention and Response on the Continental Shelf of the Russian Federation, in Inland Sea Waters, Territorial Sea and Adjacent Zone of the Russian Federation" (along with the "Rules for Arrangement of Activities on Oil and Oil Product Spill Prevention and Response on the Continental Shelf of the Russian Federation, in Inland Sea Waters, Territorial Sea and Adjacent Zone of the Russian Federation").] (In Russian).
3. Prikaz Mintransa Rossii "Ob utverzhdenii Trebovaniy k sostavu sil i sredstv postoyannoi gotovnosti, prednaznachennykh dlya preduprezhdeniya i likvidatsii razlivov nefiti i nefteproduktov na kontinental'nom shel'fe Rossiiskoi Federatsii, vo vnutrennikh morskikh vodakh, v territorial'nom more i prilozhashchei zone Rossiiskoi Federatsii" ot 6 fevralya 2017 g. № 33. [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of February 06, 2017, No. 33 "On the Approval of the Requirements for the Necessary Composition of Constant-Ready Personnel and Equipment Intended for Oil and Oil Product Spill Prevention and Response on the Continental Shelf of the Russian Federation, in Inland Sea Waters, Territorial Sea and Adjacent Zone of the Russian Federation"]. (In Russian).
4. Bogoyavlenskii V. I. Chrezvychainye situatsii pri osvoenii resursov nefiti i gaza v Arktike i Mirovom okeane. [Emergency Situations in Developing Oil and Gas Resources in the Arctic and the Ocean]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2014, no. 4 (16), pp. 48—59. (In Russian).
5. GOST R ISO 19906: 2010. Neftyanaya i gazovaya promyshlennost' — arkticheskie morskije sooruzheniya. Pril. B: Informatsiya po regionam. GOST R ISO 19906: 2010. Petroleum and natural gas industries — Arctic offshore structures. Appendix B. Information by region]. Available at: <https://www.freedocs.xyz/viewdocs.php?pdf=465999342>. (In Russian).
6. Analiz ledovoi obstanovki po dannym iskusstvennykh sputnikov Zemli na 04—06.03.2018 g. [Ice Analysis from satellite imagery. 04—06.03.2018]. AANII. Available at: <http://www.aari.ru/resources/d0015/arctic/gif.ru/2018/20180306.gif>. (In Russian).
7. Potter S., Buist I., Trudel K., Dickins D., Owens E. Likvidatsiya razlivov nefiti na arkticheskom shel'fe. [Spill Response in the Arctic Offshore]. Kompaniya "Shell". Available at: <http://s03.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/rus/downloads/pdf/wpc/new-oil/osr-book-rus.pdf>. (In Russian).
8. Predotvrashchenie i likvidatsiya morskikh razlivov nefiti v arkticheskikh usloviyakh i obespechenie gotovnosti k chrezvychainym situatsiyam. [Oil Spill Prevention and Response at Sea in Arctic Conditions and Provision of Preparedness to Contingencies]. Exxon-Mobil. Available at: [https://cdn.exxonmobil.com/~media/russia/files/arctic/arctic-osr\\_russian-final.pdf](https://cdn.exxonmobil.com/~media/russia/files/arctic/arctic-osr_russian-final.pdf). (In Russian).
9. Pavlenko V. I., Muangu Zh., Korobov V. B., Lokhov A. S. Aktual'nye problemy predotvrashcheniya, likvidatsii razlivov nefiti v Arktike i metody otsenki ekologicheskogo ushcherba pribrezhnym territoriyam. [The pressing problems of prevention and removal of oil spills in the Arctic and the methods of assessment of environmen-

tal damage to coastal areas]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no. 3 (19), pp. 4—11. (In Russian).

10. Brozhe V. Obzor nailuchshikh praktik po likvidatsii neftyanykh razlivov v Arktike. [Modern technologies for liquidation of oil and oil products spills in the marine environment]. Shell Eksploraishn end Prodakshn Kompani. Available at: [https://www.imemo.ru/ru/conf/2013/06112013/BROJE\\_06112013.pdf](https://www.imemo.ru/ru/conf/2013/06112013/BROJE_06112013.pdf). (In Russian).

11. Sposob sbora nefti iz-pod ledyanogo pokrova vodoema. [Method for oil collection from under ice cover of water body]. Pat. RU 2 572 765 C1. Mingazhev A. D., Kri-  
oni N. K., Davletkulov R. K. Opubl. 27.02.2004. (In Russian).

12. Loginovskii V. I., Fedorov V. A., Nugaev R. Ya., Mini-  
baev Yu. M. Ustroistvo dlya sbora nefti iz-pod ledya-  
nogo pokrova vodoema. Izobrenenie SU 1765292 A1. [Device for Oil Collection from Under Ice Cover of Wa-  
ter Body. Invention SU 1765292 A1]. (In Russian).

13. Ustroistvo dlya sbora nefti podo l'dom: Pat. RU 2  
535 394 C1. [Device for gathering oil under ice]. Popov  
S. N., Morova L. Ya., Gerasimov A. I., Efimov S. E. Opubl.  
08.07.2013. (In Russian).

14. TransRec System/Frank Mohn AS. Available at: [https://  
www.norwep.com/content/download/20071/125821/  
version/1/file/Frank+\\_PDF\\_018.+Offshore+Oil+Sp.pdf](https://www.norwep.com/content/download/20071/125821/version/1/file/Frank+_PDF_018.+Offshore+Oil+Sp.pdf).

15. Kratkii obzor korporativnogo plana po preduprezh-  
deniyu i likvidatsii razlivov nefti i nefteproduktov dlya  
Pil'tun-Astokhskogo mestorozhdeniya. 2011. [Brief  
Review of the Corporate Plan for Oil and Oil Product  
Spill Prevention and Response for Piltun-Astokhskoye  
Field. 2011]. Sakhalin Enerdzhi Investment Kom-  
pani Ltd. Available at: [http://www.sakhalinenergy.ru/  
media/937672b3-2da6-4033-a4ec-6fbe5d78424d.  
pdf](http://www.sakhalinenergy.ru/media/937672b3-2da6-4033-a4ec-6fbe5d78424d.pdf). (In Russian).

16. Kratkoe izlozhenie plana po preduprezhdeniyu i  
likvidatsii razlivov nefti i nefteproduktov dlya Lun-  
skogo mestorozhdeniya. Noyabr' 2012. [Summary of the  
Plan for Oil and Oil Product Spill Prevention and Re-  
sponse for Lunskeye Field. November 2012]. Sakhalin  
Enerdzhi Investment Kompani Ltd. Available at: [http://  
www.sakhalinenergy.ru/media/6e5dba77-01f2-4a54-  
bcbb-f37bfa99f8a5.pdf](http://www.sakhalinenergy.ru/media/6e5dba77-01f2-4a54-bcbb-f37bfa99f8a5.pdf). (In Russian).

17. Referat plana po preduprezhdeniyu i likvidatsii ra-  
zlivov nefti v operativnoi zone otvetstvennosti morskoi  
ledostoikoi statsionarnoi platformy "Prirazlomnaya".  
[Summary of the Plan for Oil Spill Prevention and Re-

sponse in the Operating Area of Responsibility of the  
Pryrazlomnaya Offshore Ice-Resistant Fixed Platform].  
OOO "Gazprom neft' shel'f". St. Petersburg, 2013.  
Available at: [http://shelf.gazprom-neft.ru/upload/re-  
ferat-po-plany-LARN.pdf](http://shelf.gazprom-neft.ru/upload/referat-po-plany-LARN.pdf). (In Russian).

18. Plan po preduprezhdeniyu i likvidatsii razlivov nefti i  
nefteproduktov. Litsenzionnyi uchastok Lunskeye. Kn. 2.  
Prilozheniya k Planu LRN. [Plan for Oil and Oil Product  
Spill Prevention and Response. Lunskeye License Area.  
Book 2. Appendix to the OSR Plan]. Sakhalin Enerdzhi  
Investment Kompani Ltd. 2017. Available at: [http://  
www.sakhalinenergy.ru/media/library/ru/Environmen-  
tal/OilSpillResponse/ru5.6.pdf](http://www.sakhalinenergy.ru/media/library/ru/Environmental/OilSpillResponse/ru5.6.pdf). (In Russian).

19. Kovshovyi neftesborshchik Lamor (LRB). [Oil Re-  
covery Bucket LRB]. Lamor Corporation. Available at:  
<http://global.lamor.com/ru/>. (In Russian).

20. Sternmax. Lamor Corporation. Available at:  
[https://www.lamor.com/wp-content/uploads/2014/  
04/369263.pdf](https://www.lamor.com/wp-content/uploads/2014/04/369263.pdf).

21. Arctic Skimmer LAS 125. Lamor Corporation.  
Available at: [https://www.lamor.com/wp-content/up-  
loads/2011/03/223086.pdf](https://www.lamor.com/wp-content/uploads/2011/03/223086.pdf).

22. Brozhe V. Sovremennye tekhnologii likvidatsii ra-  
zlivov nefti i nefteproduktov v morskoi srede. [Modern  
technologies for liquidation of oil and oil products  
spills in the marine environment]. Shell Eksploraishn  
end Prodakshn Kompani. Available at: [http://  
new.groteck.ru/images/catalog/32772/ea9de-  
34a3b4bd6f81b973d6f40bc5ac.pdf](http://new.groteck.ru/images/catalog/32772/ea9de34a3b4bd6f81b973d6f40bc5ac.pdf). (In Russian).

23. Gimaltdinov I. K., Kil'dibaeva S. R., Akhmadeeva R. Z.  
Raschet teplofizicheskikh i kineticheskikh parametrov  
zatoplennoi strui. [Calculation of thermal and kinetic  
parameters submerged jet]. *Fundament. issled*, 2013,  
no. 11-7, pp. 1323—1327. (In Russian).

24. Kil'dibaeva S. R., Gimaltdinov I. K. Dinamika mno-  
gofaznoi zatoplennoi strui s uchetom obrazovaniya  
gidratov. [Dynamics of multiphase submerged jet in  
view of hydrate formation]. *Vestn. Tyumen. gos. un-ta.  
Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft', gaz,  
energetika*, 2015, vol. 1, no. 3, pp. 92—101. (In Russian).

25. Abramovich G. N. Teoriya turbulentnykh strui. [The  
Theory of Turbulent Jets]. Moscow, EKOLIT, 2011, 720  
p. (In Russian).

26. Loitsyanskii L. G. Mekhanika zhidkosti i gaza. [Fluid  
Mechanics]. Moscow, Drofa, 2003, 840 p. (In Russian).

### Information about the authors

**Toropov Evgeniy Evgenyevich**, Candidate of Engineering Sciences, Project Manager, Central Design Bureau for Marine Engineering "Rubin" (90, Marata str., St. Petersburg, Russia, 191119), e-mail: [Evgeny.Toropov@ckb-rubin.ru](mailto:Evgeny.Toropov@ckb-rubin.ru).

**Shabalin Andrey Alekseyevich**, Deputy Project Manager, Central Design Bureau for Marine Engineering "Rubin" (90, Marata str., St. Petersburg, Russia, 191119), e-mail: [Andrey.Shabalin@ckb-rubin.ru](mailto:Andrey.Shabalin@ckb-rubin.ru).

**Mokhov Oleg Aleksandrovich**, Chief Specialist, Central Design Bureau for Marine Engineering "Rubin" (90, Marata str., St. Petersburg, Russia, 191119), e-mail: [Oleg.Mokhov@ckb-rubin.ru](mailto:Oleg.Mokhov@ckb-rubin.ru).

### Bibliographic description

Toropov E. E., Shabalin A. A., Mokhov O. A. Under ice oil spill response in the remote Arctic waters. *Arctic: eco-  
logy and economy*, 2018, no. 4 (32), pp. 30—42. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-4-30-42. (In Russian).

© Toropov E. E., Shabalin A. A., Mokhov O. A., 2018