

## Чрезвычайные ситуации при освоении ресурсов нефти и газа в Арктике и Мировом океане

В. И. Богоявленский<sup>1</sup>, член-корреспондент РАН  
ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН

*На основе созданного в ИПНГ РАН банка данных об авариях и катастрофах при добыче и транспортировке углеводородов в Арктике и Мировом океане рассмотрены причины их возникновения, среди которых выделены техногенные, природные и природно-техногенные. Освещены меры, принимаемые в России и других странах по предупреждению аварий и катастроф, своевременному обнаружению разливов углеводородов, а также ликвидации их последствий.*

**Ключевые слова:** Арктика и Мировой океан, освоение углеводородов на акваториях, разливы нефти и нефтепродуктов, газогидраты, воронки взрыва на Ямале, аварии и катастрофы, чрезвычайные ситуации.

### Введение и общие положения

Рост мирового потребления углеводородного сырья и истощение его запасов на суше активизировали поисково-разведочные работы и нефтегазодобычу на шельфе и континентальном склоне Мирового океана, приведшие к открытию многочисленных морских нефтегазоносных бассейнов (НГБ), многие из которых являются продолжением НГБ суши (рис. 1). Аналогичная ситуация наблюдается и в основных НГБ Арктики, первоначально открытых на суше: Бофорта-Маккензи и Свердруп (Канада), Северного склона Аляски (США), Западно-Баренцевского (Норвегия), Восточно-Баренцевского и Южно-Карского (Россия).

На российском шельфе обнаружены наиболее крупные месторождения с суммарными запасами нефти и газа около 10 млрд т нефтяного эквивалента: Штокмановское, Русановское, Ленинградское, Долгинское, Приразломное, Юрхаровское и др. В 2014 г. в результате бурения на структуре Университетская в Карском море компания «Карморнефтегаз» (альянс ОАО «НК «Роснефть» и «ExxonMobil») открыла новое крупное месторождение, которое, видимо, является самым большим открытием года.

В настоящее время на акваториях Арктики разрабатываются всего 12 месторождений: 9 на Северном склоне Аляски (США), одно в юго-западной части Баренцева моря (Snohvit, Норвегия), одно в Тазовской губе Карского моря (Юрхаровское, с 2003 г.) и одно в Печорском море (Приразломное, с 2013 г.). Из-за

экстремально сложных природно-климатических условий нефтегазодобыча на акваториях Арктики развивается гораздо медленнее, чем в других более доступных регионах Мирового океана. Это позволило избежать крупных аварий в морских условиях Арктики, в то время как на сопредельной суше и в других акваториях мира они уже случались неоднократно [1—7].

Проводимое на многих акваториях Мирового океана активное освоение ресурсов углеводородов практически повсеместно сопровождается авариями и катастрофами с выбросами нефти и газа из поисково-разведочных и эксплуатационных скважин, разливами нефти и нефтепродуктов при их хранении и транспортировке танкерами и подводными трубопроводами, а также гибелью людей. Эти трагические события могут быть обусловлены различными причинами (проблемами), среди которых выделяются техногенные, природные и природно-техногенные. Техногенный фактор обусловлен повреждением или отказом безопасной работоспособности применяемого бурового, добывающего и транспортного оборудования, а также столкновениями различных плавающих средств включая танкеры. Основные природные и природно-техногенные проблемы освоения морских месторождений нефти и газа, часто приводящие к авариям и катастрофам:

- сильные ураганы и штормы;
- выбросы нефти и газа из залежей с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД), нередко превышающими гидростатические более чем вдвое;

<sup>1</sup> e-mail: vib@pgc.su.

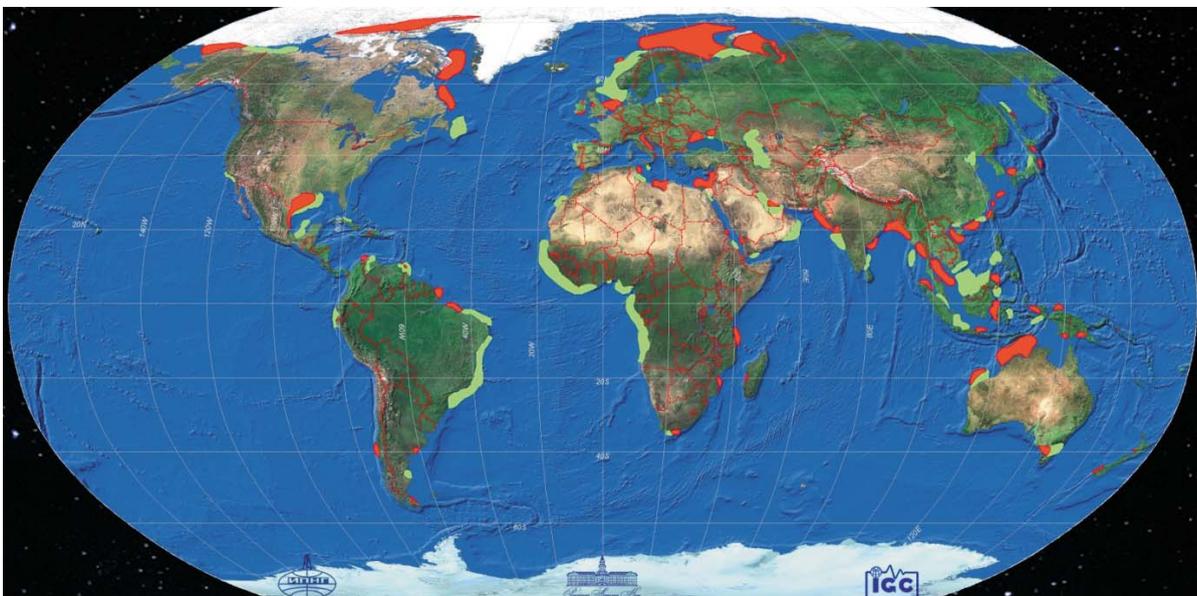


Рис. 1. Нефтегазоносные бассейны в Мировом океане (зеленый цвет – превалирование нефти, красный – газа)

- выбросы газа из неглубоких природных и техногенных залежей (газовых карманов);
- проседание морского дна при разработке залежей;
- слабые донные грунты и оползни;
- землетрясения и др.

Освоение арктических и субарктических регионов добавляет широкий спектр дополнительных проблем, среди которых выделим следующие: угроза повреждения нефтегазовых платформ и подводной инфраструктуры дрейфующими льдами и айсбергами, обледенение палубы и открытых бортовых устройств платформ и судов сопровождения, палеомерзлые донные отложения и экранируемые ими газовые карманы, газогидраты, сложность ликвидации нефтяных разливов и др.

При аварийных и катастрофических событиях в нефтегазовой отрасли в качестве причины особенно часто прослеживается человеческий фактор, под которым понимается принятие работающими специалистами разного уровня тех или иных неправильных решений и действий, обусловленных некомпетентностью, халатностью и др. Арктические условия усиливают влияние человеческого фактора, что обусловлено многими экстремальными природно-климатическими особенностями: низкими температурами воздуха (до  $-30$ — $-50^{\circ}\text{C}$ ), сильными ветрами и штормами, обледенением оборудования, вибрациями от дрейфующего льда, аномалиями геомагнитного поля Земли, вахтовой системой работы, недостатком или переизбытком освещенности (в зимнее и летнее время), общим переутомлением.

В Институте проблем нефти и газа РАН (ИПНГ РАН) собираются и анализируются данные о крупных

морских авариях и катастрофах, связанных с добычей и транспортировкой углеводородов, информация о которых также анализируется и публикуется рядом заинтересованных организаций [1—6; 7; 10]. Эти данные объединяются в единую геоинформационную систему ИПНГ РАН, позволяющую сделать важные выводы об основных причинах и трендах чрезвычайных ситуаций.

### **Аварии и катастрофы при добыче углеводородов на акваториях**

Одним из старейших морских НГБ Мирового океана является Мексиканский залив, где США и Мексикой накоплен богатый опыт освоения ресурсов углеводородов. Начиная с 2005 г. история нефтегазодобычи в Мексиканском заливе полна драматических событий. В 2005—2008 гг. здесь свирепствовала серия мощных ураганов, повредивших инфраструктуру многих морских нефтегазовых промыслов и нанесших значительный урон нефтегазовой индустрии США. В частности, по данным MMS (Департамент управления минеральными ресурсами США), в августе 2005 г. ураган «Katrina» разрушил 44 и повредил 20 буровых и добычных платформ, а в сентябре 2005 г. ураган «Rita» — соответственно 69 и 32. Они же повредили 100 и 83 трубопровода. Из-за разрушений при урагане «Katrina» в воду вылилось около 26 тыс. т (190 тыс. баррелей) нефти и нефтепродуктов. Серия разрушительных ураганов серьезно повлияла на уровень нефтегазодобычи (добыча нефти упала на 26%). 30 августа 2012 г. ураган «Айзек» привел к снижению добычи нефти в Мексиканском заливе на 95% (на 1,3 млн баррелей в сутки) и газа на 75,5% (на 93 млн м<sup>3</sup> в сутки).

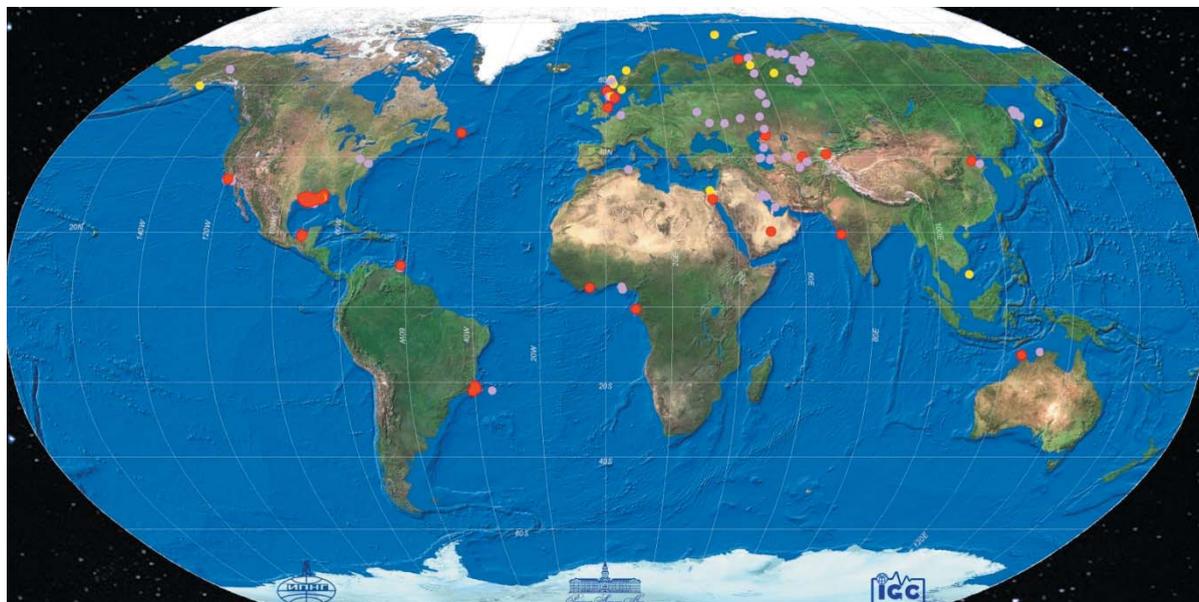


Рис. 2. Зоны размещения основных аварий и катастроф при добыче углеводородов на море и суше

На рис. 2 красным и розовым цветами показаны аварии и катастрофы на море и суше при добыче углеводородов с их аварийными выбросами (красный цвет — 25 самых крупных мировых катастроф), а желтым — аварийные события меньшего масштаба.

20 апреля 2010 г. при буровых работах на месторождении Macondo в Мексиканском заливе (оператор — компания BP) произошла одна из самых крупных мировых катастроф с выбросом, возгоранием и взрывом нефтегазовой смеси (рис. 3). Ультрасовременная полупогружная буровая установка (ППБУ) «Deepwater Horizon» сгорела за 36 ч и затонула, при этом погибли 11 человек. По признанию BP, в залив попало около 0,7 млн т нефти (4,9 млн баррелей), образовавшей пятно площадью до 75 тыс. км<sup>2</sup>. Фонтанирование скважины было остановлено только через 86 дней (15 июля).

Катастрофа ППБУ «Deepwater Horizon» произошла из-за аварийного выброса и взрыва нефтегазовой смеси и является закономерной, что подтверждается расследованиями, выявившими многочисленные технологические нарушения и отказы работы оборудования, включая устьевой превентор, а также роковые ошибки в действиях экипажа (человеческий фактор), не диагностировавшего плохое цементирование забоя скважины. Природными факторами, прямо или косвенно вызвавшими катастрофу и усложнившими ликвидацию ее последствий, является наличие в залежи АВПД и образование газогидратов вблизи глубоководного дна при реализации одной из попыток остановки подводного углеводородного фонтана. Уже в середине 2013 г. ущерб компании BP превысил 40 млрд долл. (с учетом штрафов), но предстоят еще дополнительные выплаты. Данная катастрофа

является одной из самых трагичных, а объем разлившейся нефти на море — крупнейшим в мире, если не считать разливы нефти в Персидском заливе в ходе войны 1991 г. До этого в мирное время самый крупный аварийный разлив нефти (около 0,5 млн т) на море с пожаром и гибелью ППБУ «Sedco 135F» произошел 3 июня 1979 г. на скважине «Ixtoc-1» компании «Pemex» на шельфе Мексики. На остановку фонтанирования потребовалось 294 дня. Случись подобные катастрофы в арктических широтах, последствия были бы несравнимо более трагичными и глобальными [1—7; 11].

Несмотря на развитие технологий и технических средств морской разведки и добычи углеводородов, наличие АВПД многократно приводило и будет приводить к чрезвычайным ситуациям с крупными аварийными и катастрофическими последствиями в различных регионах Мирового океана и суши, связанными с неконтролируемым выбросом (фонтаном) углеводородов: «Lakeview Gusher» и «Dos Cuadras» в Калифорнии, «German Bight», «Ekofisk Bravo B-14» и «Elgin» в Северном море, «Ixtoc» и «Macondo» в Мексиканском заливе, «Булла-Дениз» в Каспийском море, «Лунинская-1» в Баренцевом море, скважины «Тазовская 1» и «Тазовская 52», «Пурпейская-101», «Бованенковская 67» и «Бованенковская 118», «Кумжинская-9», «Тенгиз-37» и др. в СССР [1; 2; 6; 7]. Самые распространенные аварии и катастрофы на морских промыслах (44,7% случаев) связаны именно с фонтанированием углеводородов, чаще всего газообразных («Den Norske Veritas», 2011). Большая часть выбросов (57%) завершается возгоранием. По данным Ростехнадзора в последние годы на суше России среднее число неконтролируемых выбросов составило 5,5, а взрывов и пожаров — 5,1.

По данным Департамента управления минеральными ресурсами США, в 2001—2010 гг. на морских платформах было зафиксировано 858 разномасштабных пожаров и взрывов (в среднем одно происшествие каждые четыре дня). Принятые в США и ряде других стран меры по ужесточению контроля над производством морских геологоразведочных и нефтегазодобывающих работ оказали существенное влияние на тренды морской нефтегазодобычи в Мексиканском заливе и в Мировом океане. Доля добываемой в Мексиканском заливе глубоководной нефти после многолетнего роста и преодоления в 2009 и 2010 гг. рубежа 80%, нарушив все недавние прогнозы, опустилась в 2012 г. ниже 70% [3; 6].

В качестве новейших примеров катастрофических событий приведем результаты выбросов газа в 2012—2013 гг. на трех крупных зарубежных месторождениях. 25 марта 2012 г. на месторождении Elgin, расположенном в Центральном грабене Североморского бассейна на глубине более 5 км, произошла аварийная утечка на поверхность газа до 200 тыс. м<sup>3</sup> в сутки с конденсатом из скважины G4, обусловленная АВПД и плохим цементажом колонны скважины с коррозией обсадных труб. Только наличие бокового ветра помогло избежать воспламенения и взрыва выходящего газа (на факельной вышке горел газ) с повторением трагичных историй, подобных пожарам и гибели ППБУ «Deerwater Horizon» (см. выше) и добывающей платформы «Piper Alpha» (Северное море, Великобритания, 1988 г., 167 погибших, ущерб 3,4 млрд долл., рис. 4). В течение двух часов компания «Total» (оператор) эвакуировала вертолетами весь персонал с платформы «Elgin» и стоявшей рядом самоподъемной буровой платформы (СПБУ) «Rowan Viking» (238 человек), а также с соседней платформы «Franclin». Утечка газа была остановлена 16 мая закачиванием в скважину



Рис. 4. Нефтегазовый промысел «Piper Alpha» на завершающей стадии пожара и гибели добычной платформы («Occidental Petroleum»)



Рис. 5. Пожар на СПБУ «Hercules-265»

тяжелого бурового раствора. Исследовательские и ремонтные работы на этих месторождениях продолжались около года; добыча возобновилась только 9 марта 2013 г. и идет в половинном от достигнутого до аварии объеме. Великобритания недополучила в 2012 г. 7% газа; убытки «Total» составили «несколько миллиардов фунтов стерлингов» («The Financial Times», 11 марта 2013 г.). Добыча газа в 2013 г. продолжала падать.

23 июля 2013 г. в Мексиканском заливе недалеко от побережья Луизианы произошел выброс газа с конденсатом на СПБУ «Hercules-265», за которым последовали возгорание и взрыв, платформа почти полностью сгорела (рис. 5). 17 августа 2013 г. при бурении скважины № 90 на азербайджанском месторождении Булла-Дениз в Каспийском море из-за АВПД на глубине 5868 м произошли мощный выброс газа и пожар; 62 члена экипажа были эвакуированы. Пожар продолжался более двух недель, буровая платформа сгорела, несмотря на работу



Рис. 3. Пожар на ППБУ Deepwater Horizon на месторождении Macondo (BP)



Рис. 6. Катастрофа танкера «Prestige» в 2002 г.

11 специализированных судов Государственной нефтяной компании Азербайджанской Республики и МЧС Азербайджана.

Аварийные выбросы и возгорания газа и нефти на суше Арктики и других регионов — достаточно частые явления, в большинстве случаев не имеющие катастрофических последствий, хотя длительная история нефтегазодобычи полна долговременных драматических ситуаций («Тенгиз-37», «Кумжинская-9», «Урта-Булак», «Бованенковская 67» и «Бованенковская 118» и др.). Для их ликвидации в ОАО «Газпром» создано и успешно работает ООО «Газпром газобезопасность», привлекающее в отдельных случаях военные подразделения. Из последних событий отметим успешную ликвидацию пожара 19—27 августа 2013 г. на Самбургском месторождении ОАО «Арктикгаз» (российско-итальянское предприятие ООО «СеверЭнергия»). 6 сентября 2014 г. в восточной части Ямала в 500 м от акватории Обской губы на Южно-Тамбейском месторождении ООО «Ямал СПГ» на кустовой площадке № 47 произошло аварийное фонтанирование с возгоранием газа, которое удалось остановить только спустя 10 дней. По официальным данным, для ликвидации пожара было задействовано 38 единиц

техники и пришлось произвести 36 выстрелов из артиллерийской пушки. Очевидно, что ограниченное пространство морских нефтегазопромыслов усложняет ликвидацию аварийных ситуаций.

Для повышения эффективности и экологической безопасности разработки морских месторождений за рубежом активно применяются системы сейсмического мониторинга добычи нефти и газа с размещением сейсморегистрирующих комплексов на дне (сейсморазведка 4D). Данные исследования позволяют контролировать флюидоперетоки в залежах углеводородов и оптимизировать их разработку, что привело к увеличению коэффициентов извлечения нефти на ряде месторождений до 50—68%. В России они применялись всего один раз (в 2010 г. на Пильтун-Астохском месторождении), да и то в упрощенном варианте с плавающими носами. В ИПНГ РАН разрабатываются новые технологии комплексного сейсмического и геоэкологического мониторинга освоения морских месторождений нефти и газа, позволяющие в близких к реальному времени условиях контролировать техногенные изменения в резервуарах и в окружающей среде (флюидозамещения, образование техногенных залежей, проседания дна, землетрясения и пр.) в районе промысла в процессе извлечения углеводородов, закачивания воды и газа.

Значительную опасность для буровых установок и специализированных плавсредств представляют мобилизационные и демобилизационные работы, свидетельством чему служит гибель 18 декабря 2011 г. СПБУ «Кольская» (ОАО «Арктикморнефтегазразведка»), затонувшей во время шторма в субарктических условиях Охотского моря на глубине 1100 м с большей частью экипажа (погибли 53 человека из 67). Ровно через год в аналогичных условиях на южном шельфе Аляски чуть не погибла буровая установка «Kulluk» компании «Shell». В понимании приближающейся катастрофы

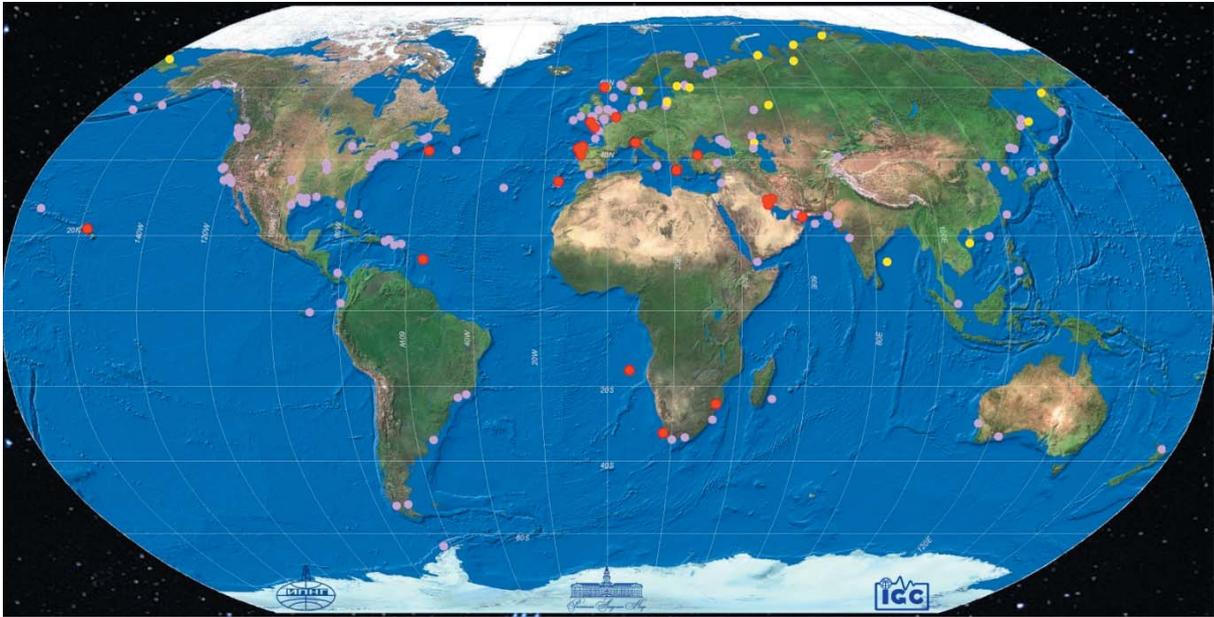


Рис. 7. Катастрофы и аварийные разливы нефти и нефтепродуктов из танкеров в Мировом океане

в экстремальных условиях сильного шторма с ветром свыше 100 км/ч береговая охрана США (U.S. Coast Guard) сняла с нее весь экипаж (18 человек). 31 декабря 2012 г. после трехдневного свободного дрейфа буровая установка «Kulluk» была выброшена волнами на мель около небольшого острова. Повезло, что отмель оказалась не скалистой, как в случае с танкером «ExxonValdez», получившим большие бортовые пробоины (см. ниже). После недельного стояния на мели буровая установка «Kulluk» была спасена, снята с мели и отбуксирована в ближайший залив.

2 июля 2013 г. у берегов Анголы в районе устья реки Конго, не успев приступить к бурению, затонула новейшая (2009 г. постройки) СПБУ «Petro Negro 6» компании «Saipem SpA», способная бурить скважины до глубины 9100 м. Катастрофа произошла из-за слома одной из трех опор во время сильного волнения. При этом один человек погиб, а шестеро получили травмы.

### Аварии и катастрофы при морской транспортировке углеводородов

Объемы транспортируемой морским путем нефти превышают 1,5 млрд т в год — около 40% мировой добычи, что существенно превышает объем добываемой нефти на акваториях, который в последние годы изменяется в диапазоне 30—34%. При этом статистические исследования показали, что объемы аварийных разливов нефти при ее транспортировке в 23—26 раз выше, чем при морской добыче [6; 7; 10; 11]. Согласно имеющейся международной статистике аварий танкеров, повлекших разливы нефти, 84—88% таких событий связано с человеческим фактором и сложными условиями навигации. Многочисленные примеры аварий и катастроф при добыче

и транспортировке углеводородов в Мировом океане показали, что от человеческого фактора не могут застраховать даже самые современные технологии и технические средства.

Совершенствование конструкций танкеров (двойные корпуса и др.), а также систем навигации и спутникового мониторинга их перемещений привело к значительному уменьшению количества и суммарных объемов годовых разливов за прошедшие 40 лет. Количество средних разливов (7—700 т) в 2000—2009 гг. по сравнению с 1970—1979 гг. сократилось в 3,6 раза, а крупных (более 700 т) — в 7,5 раза [6; 7; 11]. За последние полвека 25 самых крупных разливов нефти и нефтепродуктов объемами от 70 до 287 тыс. т произошли в 1967—2002 гг., в том числе 4 в Персидском заливе во время войны 1991 г. (суммарно свыше 0,5 млн т). Самый крупный разлив нефти вне военных действий (287 тыс. т) произошел у берега Республики Тринидад и Тобаго 19 июля 1979 г. при столкновении супертанкеров «Atlantic Empress» и «Aegean Captain» [1; 6; 7]. Катастрофа (пожар и гибель) танкера «Castillo de Bellver» 6 августа 1983 г. у побережья Южной Африки привела к самому большому разливу нефти с одиночного судна. По разным данным в воду попало от 250 до 267 тыс. т. Большую известность получила катастрофа танкера «Prestige» 13 ноября 2002 г. вблизи Испании (рис. 6). Этот танкер переломился и затонул, что повлекло разлив перевозившегося российского мазута в размере 64 тыс. т, загрязнившего европейское побережье. Затраты на ликвидацию последствий этой катастрофы с учетом штрафов составили около 5 млрд евро.

Сравнение количеств разливов по странам свидетельствует, что чаще всего они происходят

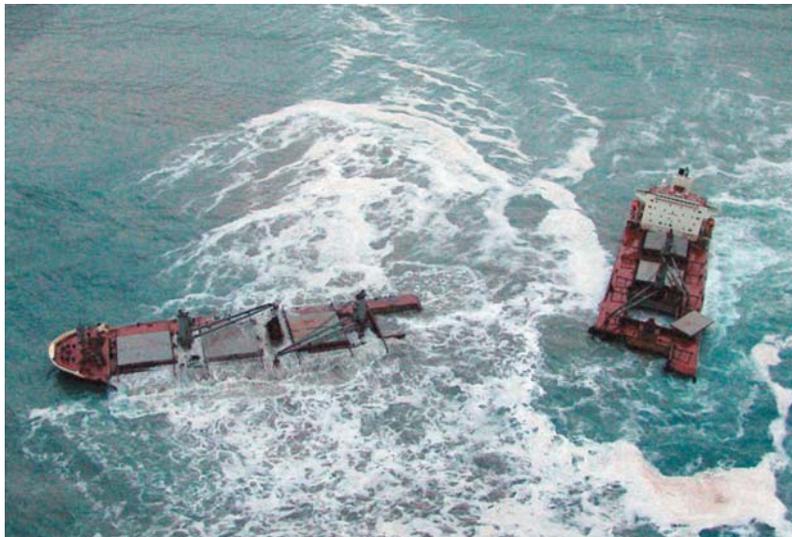


Рис. 8. Гибель сухогруза «Selendang Ayu» в Беринговом море

у берегов стран — импортеров нефти (79%), в первую очередь около США. Это объясняется высокой плотностью движения танкеров из-за наибольшего объема импорта нефти. Однако из 50 самых крупных разливов (35—287 тыс. т) около США было всего два включая известную катастрофу 23 марта 1989 г. танкера «Eхxon Valdez» у южных берегов Аляски с разливом 37,4 тыс. т нефти, которая произошла по вине капитана (человеческий фактор), посадившего судно на мель. Эта катастрофа является самой крупной в северных широтах, но лишь 37-й по объему разлива в общем списке. Она оказала огромное региональное негативное воздействие на экосистему и доказала особую уязвимость Арктики. Нефтью было загрязнено свыше 2 тыс. км побережья. Различные эксперты оценивают ущерб в 6—9 млрд долл. в ценах 1989 г. (по данным «EхxonMobil» — 4,3 млрд долл.).

На рис. 7 красным и розовым цветами показаны аварии и катастрофы с разливами нефти (красный цвет — 20 самых крупных мировых катастроф), а желтым — аварийные события без разлива [6]. Статистический анализ около 500 катастрофических и крупных разливов нефти из танкеров по характеру происшествий показывает, что чаще всего их причинами были: удары танкеров о морское дно (посадка на мель) — 32,75%, столкновения — 29,45%, разрушения корпуса — 13,19%, пожары и взрывы — 11,65%. Но в последнее десятилетие чаще происходили столкновения (35%), чем посадки на мель (около 30%) [6; 10; 14].

Последствия загрязнения Аляски нефтью из «Eхxon Valdez» до сих пор не устранены, а активное движение в регионе порождает новые катастрофы. В декабре 2004 г. во время шторма в Беринговом море был выброшен на подводные скалы острова Уналашка, переломился на две части и затонул сухогруз «Selendang Ayu»; более 1000 т нефтепродуктов залили море и побережье (рис. 8). При спасении экипажа разбился вертолет и погибли 6 человек. 2 февраля 2006 г. в ледовых условиях на южном шельфе Аляски (недалеко от порта Никиски) сел на мель танкер «Seabulk Pride», к счастью, без загрязнения среды.

Бывают ситуации, когда посадка на мель вызвана непредвиденными природными явлениями. В частности, по данным ООО «Газпром добыча Ямбург», 30 сентября 2010 г. танкер «Курчум» с грузом конденсата (около тысячи тонн) сел на мель из-за неожиданного изменения уровня воды (более чем на метр) в порту Ямбург в Обской губе. Возможной

катастрофы с разломом танкера и разливом конденсата удалось избежать благодаря оперативной перекачке конденсата в береговые резервуары.

В июле 2001 г. в норвежских водах недалеко от Тромсё чуть не завершилась катастрофой аварийная ситуация на недавно построенном российском танкере ледового класса «Калининград» ОАО «ЛУКОЙЛ», перевозившем 17 тыс. т нефти в Европу. Танкер потерял ход из-за отказа двигателя и дрейфовал по воле волн. Двигатель удалось запустить за несколько минут до возможной трагедии в 200 м от подводных скал.

Очевидно, что при расширении грузопотока в Арктике столкновения и посадки на мель будут также представлять наибольшую опасность. Об этом свидетельствуют посадка на мель и разлив нефти в субарктических условиях около острова Итуруп российско-го танкера «Каракумнефть» (15 февраля 2012 г.). Несмотря на то что Россия, являясь экспортером нефти, относится к меньшей группе риска, чем США и другие импортеры, широкомасштабная эксплуатация Северного морского пути создаст насыщенное движение судов в экстремальных арктических условиях в достаточно узком водно-ледовом коридоре, что неизбежно приведет к росту количества чрезвычайных ситуаций.

### Ликвидация последствий аварий и катастроф

Для предотвращения выбросов (фонтанов) углеводородов при бурении применяется специальное устьевое (донное) оборудование, включающее превентор, предназначенный для перекрытия (герметизации) ствола скважины по команде с платформы или автоматически. Однако бывает, что имеющаяся защита не срабатывает (технический фактор) и происходит неконтролируемое фонтанирование, нередко сопровождающееся возгоранием и взрывом смеси углеводородов

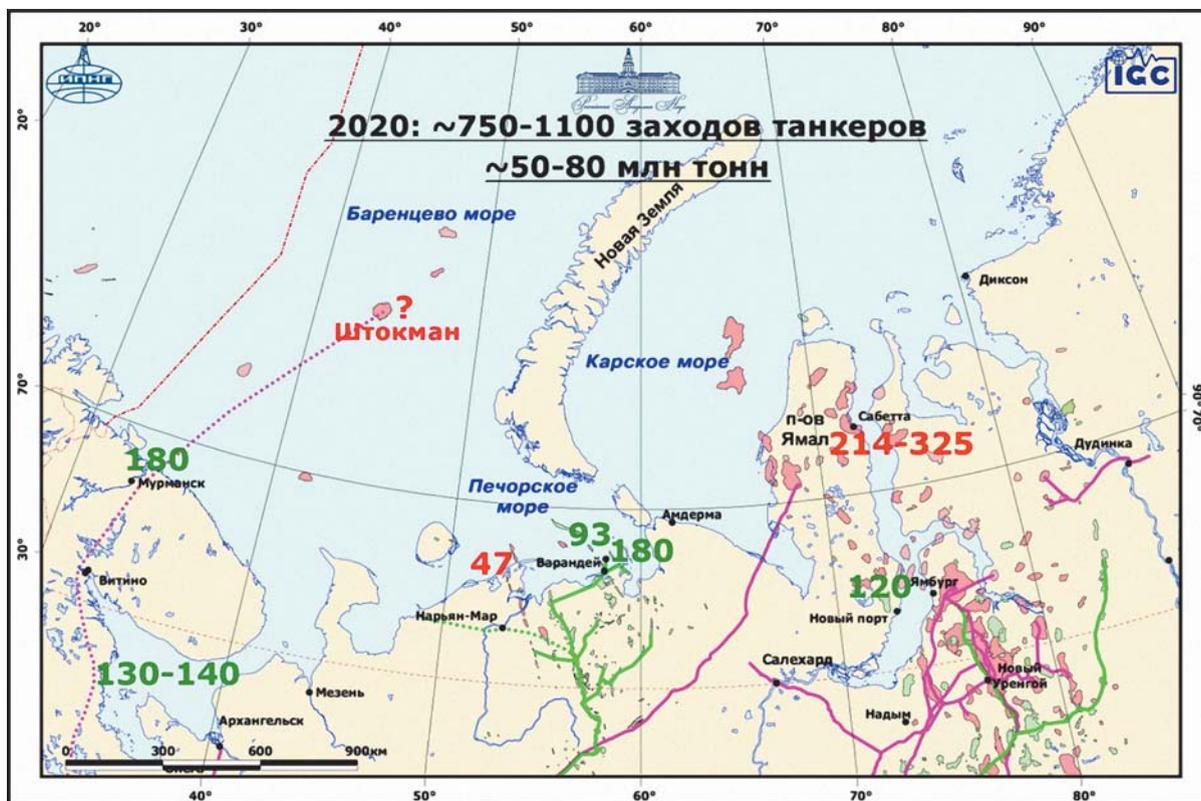


Рис. 9. Месторождения и инфраструктура российской нефтегазовой промышленности в Арктике

(«Piper Alpha», «Montara», «Macondo», «Hercules-265», «Булла-Дениз» и др.). Кроме применения традиционных средств пожаротушения во многих случаях глушение фонтана осуществляется закачиванием тяжелого бурового раствора, плотность которого рассчитывается в зависимости от АВГД («Elgin» и др.). В особо сложных случаях приходится специально бурить одну-две наклонные скважины, пересекающие ствол фонтанирующей скважины, для «перехвата» углеводородной смеси или остановки ее движения по стволу аварийной скважины путем закачивания тяжелого бурового раствора. В некоторых случаях в этих наклонных скважинах вблизи ствола аварийной скважины осуществляется взрыв для перекрытия потока. Во времена СССР при ликвидации крупных аварий (катастроф) применялись даже атомные взрывы (Урта-Булак, Кумжинское и др.).

Обнаружение аварийных утечек углеводородов из подводных трубопроводов и их ремонт — достаточно сложные задачи на любых акваториях Мирового океана, но особенно в арктических ледовых условиях с ограниченной логистикой. Эффективность имеющихся в мире технических средств ликвидации разливов невысока даже в благоприятных условиях в отсутствие льда, при этом требуется привлечение большого количества судов и людей. По данным ВР при катастрофе на месторождении Macondo (см. рис. 3) на пике активности в ликвидационных работах в Мексиканском заливе и на берегу было

задействовано 6500 судов разного назначения, 125 самолетов, более 4 тыс. км заградительных бонов и 48 тыс. человек, что превышает все население Ненецкого АО включая детей. По официальной информации ВР в ходе ликвидационных работ было собрано всего около 16% разлившейся нефти и сожжено на воде 4,5—6,3%.

Эффективность ликвидации нефтяных разливов в Арктике осложняют многие природные явления: туманы и штормы; продолжительная полярная ночь; низкие температуры; лед, ограничивающий доступ и снижающий эффективность специализированных судов; обледенение судов и оборудования; повышенная вязкость нефти; снижение эффективности работы оборудования (насосов и др.); замедление процессов разложения углеводородов и их потребления морскими микроорганизмами. Небольшой позитив несут: пониженная скорость распространения разлитой нефти (в сравнении с теплыми водами); природные ледовые барьеры для распространяющейся нефти; полярный день, облегчающий проведение ликвидационных работ в летнее время.

В России и за рубежом отсутствуют надежные технологии устранения разливов жидких углеводородов в ледовых условиях. Мировой опыт свидетельствует о возможности ликвидации не более 10—20% разлившихся углеводородов. Основными технологиями ликвидации разливов являются механический сбор, сжигание на воде и химическое разложение

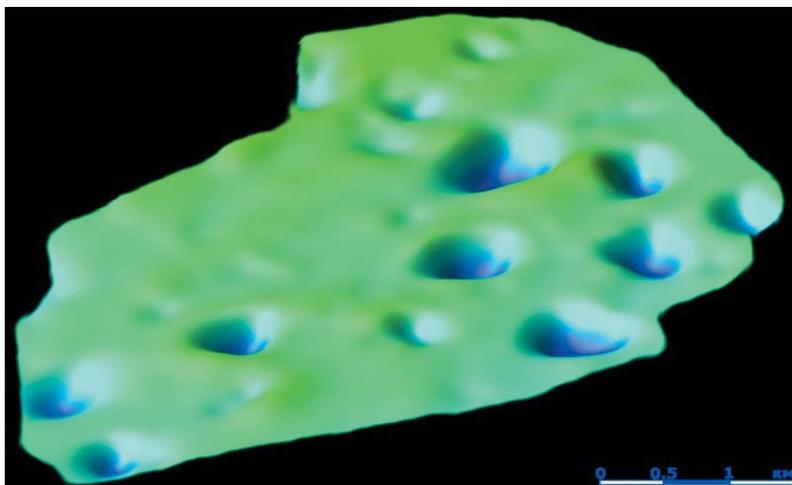


Рис. 10. Покмарки в центральной части Баренцева моря

с помощью диспергентов. Согласно данным ФБУ «Госморспасслужба России» (организации Минтранса России и Федерального агентства морского и речного транспорта, ответственной за ликвидацию аварийных разливов нефти в морских условиях) в России сжигание нефти на море запрещено и огнестойкие заградительные боны отсутствуют. Не рекомендовано также применение в арктических условиях диспергентов. Для повышения эффективности борьбы с возможными разливами нефти необходимо обновление и расширение аварийно-спасательного флота Госморспасслужбы России и создание ряда центров базирования специализированных судов и технических средств, один из которых целесообразно расположить в Амдерме.

Из обобщения планов российских недропользователей следует, что в 2020 г. в Печорском и Карском морях объемы перевозок нефти и сжиженного природного газа (СПГ), добываемых на шельфе и прилегающей суше, достигнут 50—80 млн т (в 14—22 раза больше всего грузопотока по Северному морскому пути в 2012 г.), при этом не учтены объемы грузопотоков из других регионов. Вывоз данного объема нефти и СПГ потребует 750—1100 заходов крупнотоннажных танкеров, распределение которых по конкретным проектам отображено на рис. 9 [5; 10]. Это свидетельствует о быстро растущих угрозах экосистеме Арктики и требует активного развития сил МЧС и Госморспасслужбы России из-за крайне ограниченного времени.

В 2013 г. в Нарьян-Маре открылся первый арктический центр МЧС по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, а в 2014 г. — его аналог в Архангельске. В августе 2014 г. в Печорском море около морской ледостойкой стационарной платформы «Приразломная» и Варандейского берегового комплекса состоялись вторые масштабные учения по ликвидации аварийных разливов нефти и спасению на море, организованные под патронажем Совета безопасности России (первые проводились у Варандейского терминала в 2008 г.). К учениям были привлечены специалисты и технические средства ОАО «Газпром», ОАО «ЛУКОЙЛ», МЧС, ФБУ «Госморспасслужба России» и других организаций.

Необходимо помнить, что кроме организации безопасной добычи и транспортировки углеводородов на акваториях России спустя несколько десятилетий потребуются обеспечить ликвидацию построенной инфраструктуры — подводных скважин, трубопроводов и другого оборудования. Эта проблема уже стоит как особенно важная и сложная для исполнения во многих морских нефтегазоносных бассейнах мира,

где длительное время ведется добыча нефти и газа (Северное море, Мексиканский залив и др.). Возможно образование таких глобальных негативных ситуаций, когда основные силы «наиболее отличившихся стран», а может быть, и всего человечества, потребуется тратить не на создание новых жизненно необходимых материальных ценностей, а на ликвидацию последствий «успешной деятельности» предыдущих поколений, которые недоучли отдельные факторы риска организации нефтегазодобычи, особенно в Арктике.

Большую опасность представляют возможные выбросы газа и нефти из техногенных залежей, образовавшихся за счет флюидоперетоков по заколонному пространству скважин, что уже неоднократно приводило к катастрофам (месторождения Elgin, Бованенковское и др.).

### Угрозы катастрофических выбросов газа из криолитозоны Земли

На дне практически всех акваторий Мирового океана выявлены многочисленные углубления (воронки, кратеры) в рельефе дна, называемые в зарубежной научной литературе покмарками (rockmarks), к которым часто подходят газоподводящие каналы с больших глубин [1—4; 7; 15]. Размеры покмарок варьируют в широких пределах от единиц до тысячи и более метров, а их глубина достигает нескольких десятков метров. На рис. 10 приведено объемное изображение участка дна с координатами центра 74,9° с. ш. и 27,5° в. д., расположенного в норвежской части Баренцева моря, построенное нами по высокоточной батиметрической карте [15]. Здесь наиболее крупные депрессии (впадины) достигают 500—1000 м в диаметре и 30 м в глубину. Вокруг покмарок нередко наблюдаются брустверы из породы, выброшенной выходящим газом. В частности, большое количество таких объектов выделено на дне Штокмановского



Рис. 11. Воронка взрыва на полуострове Ямал, вид с вертолета. Фото автора

месторождения и других площадях Баренцево-Карского региона.

Нередко из покмарок выходят струи газа, выявляемые по данным эхолотирования или высоко-разрешающей сейсморазведки (газовые факелы). Кипение воды на больших по площади участках, обусловленное диссоциацией (распадом) залежей газогидрата в криолитозоне из-за изменения термобарических условий или выходом внутри- и подмерзлотных залежей газа из-за деградации субаквальной палеомерзлоты, выявлено в экспедициях Дальневосточного отделения РАН [13]. Очевидно, что районы мощной дегазации представляют серьезную опасность для мореплавания из-за изменения плотности воды, а также возможного возгорания. Известны случаи обнаружения затонувших судов, лежащих на дне покмарок. В частности,

Британская геологическая служба обнаружила в Северном море на площади South Fladen в одной из крупных покмарок, названной ими «Отверстие ведьмы» (Witch's Hole), затонувший траулер начала XX в. [7; 15]. Одним из основных объяснений гибели судна является то, что оно затонуло в результате газирования воды (изменения ее плотности) при дегазации или выхлопе газа из покмарки.

Во время сильного землетрясения в Крыму 11—12 сентября 1927 г. (9 баллов) с эпицентром к югу от Ялты в Черном море наблюдалось «кипение воды» (выход газа) со вспышками и взрывами газа [7—9]. По словам очевидцев, высота пламени была около 500 м, а ширина — до 1,8—2,7 км. Выбросы газа провоцируются и активизируются землетрясениями, но и сами порождают землетрясения. Возможно, природа многих маломagnitude землетрясений на акваториях и прилегающей суше Арктики, зарегистрированных Сейсмической службой Норвегии, обусловлена выбросами (выхлопами) газа — пневматическими взрывами.

Летом 2014 г. было выявлено не менее семи крупных кратеров со следами выброшенной породы на суше Арктики в Ямало-Ненецком АО и на севере Красноярского края, при этом подлинно известны координаты лишь четырех из них [7]. 25 августа автор вместе со специалистом некоммерческого партнерства «Российский центр освоения Арктики» (РЦОА, Салехард) побывал в экспедиции на Ямале, организованной по инициативе губернатора Ямало-Ненецкого АО Д. Н. Кобылкина, для выяснения причины образования гигантской воронки (рис. 11), расположенной в 30 км к югу от Бованенковского месторождения и в 3,5 км



а



б

Рис. 12. Космоснимки объекта вблизи Бованенковского месторождения

от магистрального газопровода высокого давления. Проведенные нами замеры показали следующие параметры: диаметр воронки по внешнему краю — около 37 м, по внутреннему — не больше 25 м, глубина от края бруствера до уровня воды — 35 м и около 40—45 м до дна (последнее с учетом падения породы на дно). Такое отличие этих параметров от первоначальных (внешний и внутренний диаметры — 60 и 40 м, глубина — свыше 50 м) обусловлено погрешностями первичных замеров. Отметим, что уровень воды на дне воронки явно поднялся на

несколько метров, затопив наблюдавшиеся ранее гrotы в ее практически вертикальных стенах.

Основным объяснением причин образования воронок являются выбросы газа из криолитозоны, т. е. по своей природе они являются аналогами морских покмарок. Однако толщина многолетнемерзлых пород, выполняя функцию регионального флюидоупора (покрышки), препятствует торможению вертикальной миграции газа и способствует их накоплению в подмерзлотных и внутримерзлотных коллекторах, а также переориентирует их потоки в субгоризонтальном направлении. Наличие на пути миграции

газа таликов приводит к выходу газа на поверхность, что неоднократно наблюдалось в ряде озер Ямало-Ненецкого АО. При этом газ способен разорвать и выбросить на поверхность маломощные покрывки таликов, образовавшиеся на дне бывших озер (хасырей) в виде гидролаколитов с ледяным ядром, называемых также буграми пучения, булгуньями и ringo. В трех случаях доказано, что именно эти объекты были до выброса газа на месте воронок [7; 8; 9]. Подтверждением сказанному служат два увязанных по координатам разновременных космоснимка для одного и того же объекта, расположенного в 10 км к югу от Бованенковского месторождения (рис. 12). Анализ космоснимка на рис. 12б свидетельствует, что на данном объекте было несколько выбросов газа разной мощности, на месте которых образовалось более 10 озер включая одно большое в центре. Очевидно, что крупные выбросы газа с образованием воронок взрыва, подобных приведенным на рис. 11 и 12, способны вызвать аварийные и катастрофические последствия на объектах нефтегазового комплекса включая трубопроводы. В ноябре 2014 г. планируется проведение новой экспедиции РЦОА на Ямал, предусматривающей осмотр, определение параметров, взятие проб грунта и, возможно, газа ряда потенциально опасных объектов, выделенных ИПНГ РАН по космоснимкам.

В России, как и в других ведущих странах мира, уделяется все больше внимания вопросам безопасности в нефтегазовой промышленности [1; 11; 12]. В ИПНГ РАН создаются геоинформационные системы потенциально опасных объектов, анализируются причины аварий и катастроф, понимание которых способствует их предотвращению. Рядом организаций и институтов создаются и совершенствуются системы контроля движения судов, в том числе из космоса, снижающие влияние человеческого фактора. Специалисты РАН принимали активное участие в обосновании и создании многоцелевой космической системы «Арктика» для мониторинга обстановки в северных широтах и работают над созданием системы дистанционного (космического) мониторинга естественных и техногенных выходов углеводородов на поверхность акваторий России. Согласно поручению Совета безопасности России от 17 марта 2010 г. система «Арктика», включая два космических аппарата с радиолокационным мониторингом ледовой обстановки и положения судов в режиме реального времени, должна приступить к работе до 2015 г.

### Литература

1. *Богоявленский В. И.* Проблемы освоения ресурсов нефти и газа в Арктике и Мировом океане // Сборник трудов общественных слушаний 30.11.2012 «Научные и инновационные подходы к решению проблемы предупреждения аварийных ситуаций на объектах ответственного назначения». — Владивосток, 2013. — С. 55—67.

2. *Богоявленский В. И.* Эра наступления на шельф. Арктический шельф: природно-техногенные угрозы экосистеме при освоении ресурсов нефти и газа // Вестн. МЧС. — 2013. — № 6—7. — С. 35—41.

3. *Богоявленский В. И., Лаверов Н. П.* Стратегия освоения морских месторождений нефти и газа Арктики // Мор. сб. — М.: ВМФ, 2012. — С. 50—58.

4. *Богоявленский В. И., Богоявленский И. В., Будагова Т. А.* Экологическая безопасность и рациональное природопользование в Арктике и Мировом океане // Бурение и нефть. — 2013. — № 12. — С. 10—16.

5. *Богоявленский В. И.* Нефтегазотранспортные системы в арктическом регионе России // Арктич. ведомости. — 2013. — № 2 (6). — С. 76—87.

6. *Богоявленский В. И., Богоявленский И. В., Будагова Т. А.* Экологическая безопасность и рациональное природопользование в Арктике и Мировом океане // Бурение и нефть. — 2013. — № 12. — С. 10—16.

7. *Богоявленский В. И.* Арктика и Мировой океан: современное состояние, перспективы и проблемы освоения ресурсов углеводородов // Труды Вольного эконо. о-ва. — 2014. — Т. 182, № 3. — С. 12—175.

8. *Богоявленский В. И.* Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала // Бурение и нефть. — 2014. — № 9. — С. 13—18.

9. *Богоявленский В. И.* Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала. — Ч. 2 // Бурение и нефть. — 2014. — № 10. — С. 4—8.

10. *Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И.* Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. — М.: Ин-октаво, 2005. — 368 с.

11. *Лаверов Н. П., Дмитриевский А. Н., Богоявленский В. И.* Фундаментальные аспекты освоения нефтегазовых ресурсов арктического шельфа России // Арктика: экология и экономика. — 2011. — № 1. — С. 26—37.

12. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. Утверждена президентом Российской Федерации 20 февраля 2013 г. (№ Пр-232).

13. *Сергиенко В. И., Лобковский Л. И., Семилетов И. П. и др.* Деградация подводной мерзлоты и разрушение гидратов шельфа морей Восточной Арктики как возможная причина «метановой катастрофы»: некоторые результаты комплексных исследований 2011 года // Докл. Академии наук. — 2012. — Т. 446, № 3. — С. 330—335.

14. Oil Tanker Spill Statistics 2012 / ITOPI. — [S. I.], 2012. — 12 p.

15. *Judd A., Hovland M.* Seabed Fluid Flow. The Impact on Geology, Biology, and the Marine Environment. — Cambridge, 2007. — 475 p.