

В.В. Дроздов, Н.П. Смирнов, В.Б. Митко, Е.Э. Куприна, А.В. Косенко

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ
НА ШЕЛЬФА БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ — ВОЗНИКАЮЩИЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

V.V. Drozdov, N.P. Smirnov, V.B. Mitko, E.E. Kuprina, A.V. Kosenko

**PROSPECTS OF INCREASE IN PRODUCTION OF HYDROCARBONIC
RESOURCES OF THE SHELF BARENTS AND THE KARSKY SEAS —
ARISING ENVIRONMENTAL PROBLEMS AND WAYS OF THEIR DECISION**

Рассмотрены особенности современной и планируемой морехозяйственной деятельности, связанной с добычей углеводородного сырья на шельфе Баренцева и Карского морей. Проанализированы основные гидрометеорологические и экологические проблемы, возникающие на пути развития освоения минеральных ресурсов Арктики: айсберговая опасность и ее связь с атмосферной циркуляцией, повышенная сложность локализации и устранения нефтяного загрязнения в сложных ледовых условиях; необходимость детоксикации и рециклинга буровых растворов. Предложены методы и способы обеспечения комплексной экологической безопасности. Обоснована структура разрабатываемой в РГГМУ информационно-управляющей системы экологического мониторинга буровых платформ (ИУСЭМ).

Ключевые слова: Баренцево и Карское моря, арктический шельф, нефть и природный газ, буровые платформы, динамика климата, атмосферной циркуляции и айсберги, экологический мониторинг, экологическая безопасность морехозяйственной деятельности.

Features of modern and planned production of marine mineral resources activity connected with production of hydrocarbonic raw materials on a shelf of the Barents and Karsky seas and in adjacent water areas are considered. The main hydrometeorological and environmental problems arising on a way of development of development of mineral resources of the Arctic — icebergs danger and its communication with the atmospheric circulation, the increased complexity of localization and elimination of oil pollution in difficult ice conditions are analysed; need of a detoxication and recycling of boring solutions. Methods and ways of ensuring complex ecological safety are offered. The structure of management information system of environmental monitoring of drilling platforms (IUSEM) developed in RSHU is proved.

Key words: Barents and Karsky seas, Arctic shelf, oil and natural gas, drilling platforms, dynamics of climate, atmospheric circulation and icebergs, environmental monitoring, ecological safety of sea activity.

Введение

Активная деятельность многих научных и общественных организаций за принятие Арктической доктрины России нашла своё отражение в Государственных документах

«Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу», принятом в сентябре 2008 г. и «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года». Однако недостаточная развитость к настоящему времени пространственного Арктического планирования накладывает жёсткие условия на морскую хозяйственную деятельность в этом регионе и особые требования к организации необходимого комплексного экологического мониторинга [4, 8, 9].

В соответствии с Планом реализации Морской Доктрины Российской Федерации до 2020 г., утвержденной указом Президента РФ № ПР-1387 от 27.07.2001, и задачами Национальной морской политики, большое внимание уделяется освоению углеводородных ресурсов морей российского Арктического шельфа, прежде всего в районах Баренцева и Карского морей. Указываются, что 43 из 61 крупного нефтяного и газового месторождения в Арктике находятся в пределах экономической зоны России. При этом предотвращение загрязнения и развитие систем мониторинга состояния морской природной среды рассматривается в качестве приоритетных задач, относящихся к обеспечению национальных интересов России в Мировом океане и устойчивого развития экономики. Природа морей и побережий Арктики отличается высокой чувствительностью и уязвимостью к техногенному воздействию. Климатические и океанологические условия подвержены весьма значительной временной изменчивости [1, 2, 5, 6, 14, 15]. В силу этого обстоятельства соблюдение российских и международных природоохранных норм, бережное отношение к окружающей среде и предотвращение негативного воздействия на морские и наземные экосистемы Арктической зоны при строительстве и эксплуатации различных морехозяйственных объектов является одним из базовых условий успешной реализации промышленного освоения региона [7, 9, 13].

Целью работы является анализ современного и планируемого освоения углеводородных ресурсов на шельфе Баренцева и Карского морей, а также разработка принципов создания информационно-управляющей системы экологического мониторинга (ИУСЭМ) объектов морской техники, занятых в добыче углеводородного сырья на шельфе морей западной Арктики, включая буровые платформы, на основе комплексного использования данных гидрометеорологического мониторинга.

Районы современного и планируемого промышленного освоения Баренцева и Карского морей

На рис. 1 представлена схема акваторий Баренцева и Карского морей, в пределах которых показаны основные районы современного и перспективного промышленного освоения, связанного, прежде всего, с добычей нефти и природного газа [10, 11].

В северо-западной части Баренцева моря в настоящее время ведется создание транспортной и добывающей системы, предназначенной для эксплуатации Штокмановского газоконденсатного месторождения. Данная газоносная структура была выявлена в 1981 г. в результате комплексных морских геофизических исследований Баренцево-Карского нефтегазоносного бассейна с борта российского научно-исследовательского судна «Профессор Штокман». Месторождение расположено в центральной части шельфа российского сектора Баренцева моря в 550 км к северо-востоку

от Мурманска. Глубины моря в этом районе колеблются от 320 до 340 м. Запасы газа оцениваются в 3,94 трлн м³, а газового конденсата — в 56,1 млн т [10, 11, 12]. Активная разработка Штокмановского газоконденсатного месторождения в настоящая время отложена из-за необходимости проектирования и создания специальной самоходной буровой платформы и подводной системы добычи и транспортировки сырья, которые способны устойчиво работать в условиях повышенного риска встречи с айсбергами. Добыча будет организована с помощью подводных добычных комплексов и специальных технологических платформ судового типа (FPSO/FPU) с возможностью быстрого отсоединения и увода с траектории движения айсбергов. Для бурения скважин планируется использовать две морские буровые установки. Запланировано 16 скважин с максимальным углом 80°, максимальной глубиной 2200 м и длиной ствола 3400 м. Для эффективной эксплуатации Штокмановского месторождения строится подводный добычный комплекс, который будет включать фонтанную арматуру, соединяемую перемычкой с подводными темплатами, на которые поступает газ из четырех подводных скважин глубиной более 2 км. Газ и конденсат от технологического судна будет транспортироваться на берег в двухфазном режиме по трубопроводу диаметром около 90 см и длиной 550 км [10, 11].

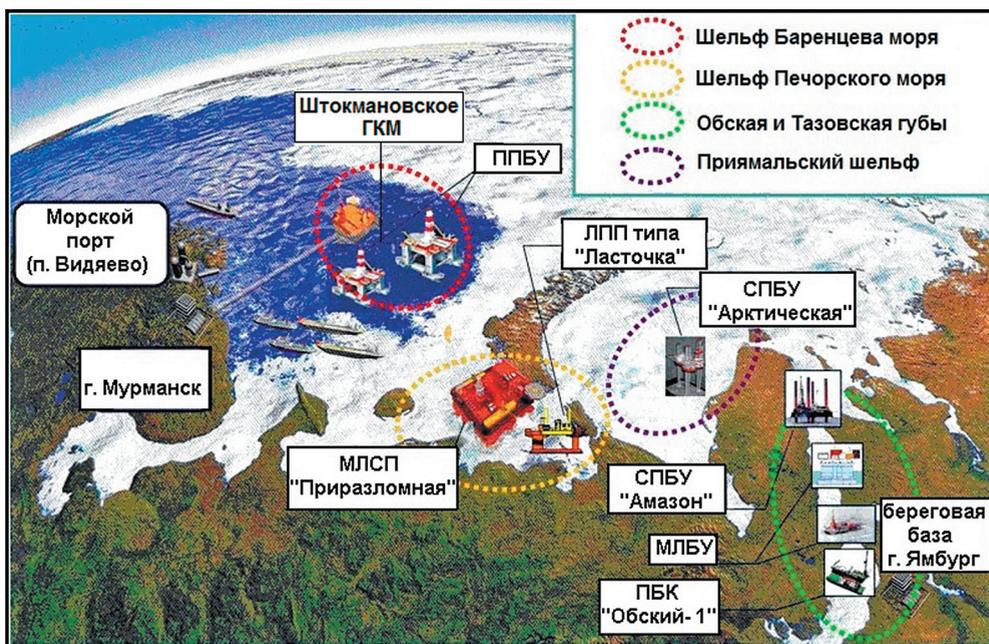


Рис. 1. Перспективы развития нефтегазового сектора в Западной Арктике

В целом, разработку Штокмановского месторождения предполагается осуществлять в три этапа. Ввод в эксплуатацию объектов морской техники на первом этапе позволит ежегодно добывать на месторождении 23,7 млрд м³ газа, на втором

этапе — планируется поднять добычу до 47,4 млрд м³. В период выполнения третьего этапа освоения месторождения добыча будет доведена до проектной мощности в 71,1 млрд м³ газа в год. Поэтому в перспективе объемы годовой добычи газа только на одном на Штокмановском месторождении в Баренцевом море будут соизмеримы с годовым потреблением газа в Германии. Добытый газ будет доставляться по подводным магистральным трубопроводам на берег в район п. Териберка, где будут расположены завод по производству сжиженного природного газа (СПГ) мощностью 7,5 млн т в год, портовый транспортно-технологический комплекс и другие производственные объекты. Проект характеризуется возможностью диверсификации поставок: параллельное ведение поставок трубопроводного природного газа в Европу и сжиженного природного газа в Европу и Северную Америку с варьированием направлений в зависимости от рыночных условий. Отсутствие транзитных стран на пути трубопроводного газа от Штокмановского месторождения по морскому газопроводу «Северный поток» в Западную Европу, сравнительно небольшие расстояния от сырьевой базы до рынков сбыта СПГ и низкие температуры в регионе, позволяющие снизить энергозатраты на сжижение газа, обеспечивают высокую конкурентоспособность проекта [10, 11].

21 февраля 2008 г. компании «Газпром», «Total» и «Statoil» подписали Соглашение акционеров о создании Компании специального назначения «Shtokman Development AG» для реализации первой фазы проекта. В капитале компании «Газпрому» принадлежит 51 %, «Total» — 25 %, «Statoil» — 24 %. Таким образом, в рамках первой фазы освоения Штокмановского месторождения отрабатывается инновационная модель привлечения крупнейших международных нефтегазовых компаний к освоению российских недр, отвечающая национальным интересам России, которая может быть использована при освоении других шельфовых проектов. 15 февраля 2011 г. в пос. Териберка состоялось обсуждение материалов проектной документации береговых объектов пускового комплекса первой фазы проекта, в том числе раздела «Перечень мероприятий по охране окружающей среды», включая оценку воздействия на окружающую среду (ОВОС). Планируется, что первоначально газ Штокманского месторождения будет транспортироваться по газопроводу, а в 2014 г. начнет функционировать завод СПГ в Мурманске [10, 11].

В юго-восточной части Баренцева моря начато освоение нефтяного месторождения «Приразломное», открытого в 1989 г. Морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП) «Приразломная» предназначена для освоения открытого в 1989 г. одноименного месторождения нефти. Данная уникальная платформа была заложена на производственном объединении «Северное машиностроительное предприятие» («Севмаш») в декабре 1995 г. по заказу «Газпрома». В России была изготовлена самая объемная часть платформы — подводный кессон, способный вместить более 100 тыс. т нефти. В качестве надстройки, включающей жилой, буровой и технический модули, были использованы конструкции выведенной из строя норвежской платформы «Hutton». В 2006 г. на «Севмаше» провели стыковку в единую конструкцию четырех блоков нижней части платформы и установили на нее верхнюю часть. В ноябре 2010 г. этап заводского изготовления МЛСП «Приразломная» был окончен, и для завершения работ она была опрарвлена в Мурманскую область на 35-й судоремонтный завод. 26 августа 2011 г. платформа была установлена на шельфе, примерно в 60 км от берега в районе

поселка Варандей Ненецкого автономного округа. Она надежно удерживается на дне моря за счет своего веса — более 500 тыс. т. Это первая в мире платформа, которая работает в экстремальных климатических условиях Арктики: в паковых льдах и при температуре до -50°C . При ее строительстве были использованы материалы из специальных сплавов, устойчивых к коррозии, низкой температуре, высокой влажности и агрессивной морской среде. Размеры опорного основания платформы на уровне дна — 126 на 126 м, общая высота — 141 м, ее емкости вмещают 113 тыс. м^3 нефти. Жилой блок рассчитан на 200 человек персонала. Платформа обеспечит круглогодичное бурение 40 наклонно-направленных скважин глубиной 7 тыс. м, добычу, первичную обработку, хранение и отгрузку углеводородного сырья на танкеры [10, 11].

20 декабря 2013 г. начата добыча нефти на Приразломном месторождении. Глубина моря в районе месторождения составляет около 20 м. Извлекаемые запасы нефти оцениваются в 72 млн т, проектный уровень добычи — 6,6 млн т в год. На полную мощность добычи платформа должна выйти через семь лет эксплуатации, расчетный срок ее службы — 25 лет. Для круглогодичного вывоза нефти компания «Совкомфлот» специально построила два нефтеналивных танкера усиленного ледового класса «Михаил Ульянов» и «Кирилл Лавров» каждый дедвейтом 70 тыс. т. Данные суда оснащены ледокольной кормой и мореходной носовой частью. Также по заказу предприятия «Газпромнефть шельф» построены многофункциональные ледоколы-снабженцы «Владислав Стрижов» и «Юрий Топчев» [10, 11]. В конце апреля 2014 г. в Печорском море на танкер «Михаил Ульянов» была впервые отгружена партия нефти с месторождения «Приразломная», первого проекта РФ по морской нефтедобыче на Арктическом шельфе. Ожидается, что в 2014 г. на международные рынки в порт Роттердам будет поставлено 300 тыс. т нефти, из расчета по танкеру в квартал. На рис. 2 представлена принципиальная схема функционирования МЛСП «Приразломная» [10].

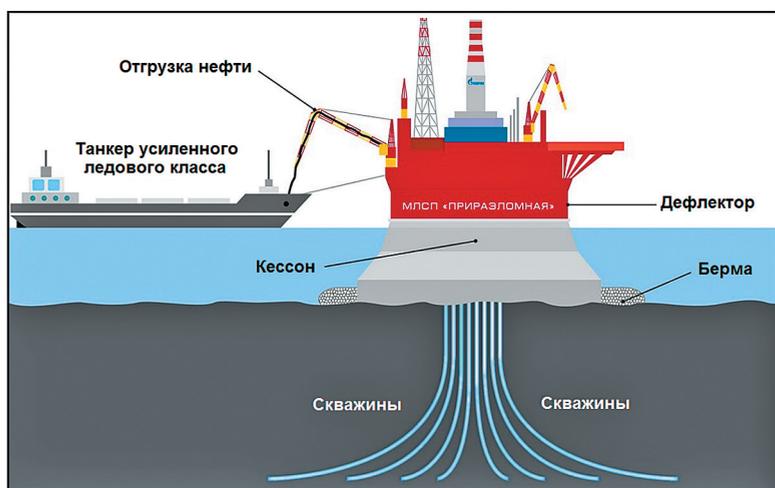


Рис. 2. Принципиальная схема работы морской ледостойкой стационарной буровой платформы «Приразломная»

В конструкции платформы «Приразломная» изначально заложена возможность приема нефти с других месторождений. Это позволит эффективно (без строительства аналогичных платформ) вовлечь в рентабельную разработку соседние месторождения, благодаря снижению удельных затрат на их обустройство. Персонал данной буровой платформы составляет 200 человек, суммарный объем 14 танков для накопления добытой нефти составляет 113 тыс. м³, суточная добыча нефти составляет до 22 тыс. т, период отгрузки нефти при максимальном уровне добычи составляет 6 суток.

В центральной части Карского моря в ближайшее время планируется ввод в эксплуатацию самоподъемной плавучей буровой установки (СПБУ) «Арктическая», проекта 15402М (разработчик — ЦКБ «Коралл», Севастополь), предназначенной для бурения разведочных и эксплуатационных скважин на нефть и газ. Модернизированный технический проект для обеспечения работы СПБУ на глубинах от 7 до 100 м был утвержден заказчиком ООО «Газфлот» в декабре 2004 г. [11]. «Арктическая» может бурить до 12 скважин при глубине бурения 6500 м. Длина установки составляет 88 м, водоизмещение 16350 т., на ее палубе установлены буровая вышка с порталом, жилой блок-модуль на 90 человек, вертолетная площадка, два крана и другое оборудование. Опорно-подъемное устройство «Арктической» состоит из трех опор ферменной конструкции высотой 139 м, каждая из которых оборудована реечно-шестеренчатым механизмом подъема непрерывного действия с электромеханическим приводом. К настоящему времени завершены все строительные работы по судовой части, проведены заводские швартовные и ходовые испытания. Создание и успешный ввод в эксплуатацию подобных высокотехнологичных объектов морской техники являются важными достижениями в работе судостроительного и проектного комплекса России и Украины.

В устьевой зоне р. Обь, в Обско-Тазовской губе также планируется начать эксплуатацию обнаруженных значительных запасов углеводородов. В 2002 г. разработана и утверждена «Программа геологоразведочных работ на 2002–2008 гг. на объектах Обской-Тазовской губы и Приямальского шельфа». Программой запланировано бурение 35 скважин общей протяженностью 72 250 м; проведение сейсморазведочных работ и инженерно-геологических исследований на 32 площадях. Здесь планируется задействовать СПБУ «AMAZONE», спроектированная фирмой «GUSTO Engineering» и построенная в Норвегии на верфи «Aker Stord Verft». Установка взята «Газфлотом» в лизинг с последующим выкупом и предназначена для бурения нефтяных и газовых скважин глубиной до 3 тыс. м при глубинах воды на акватории (расстоянии от поверхности воды до дна акватории) в пределах от 3,7 до 51 м. Наличие на СПБУ съемных башмаков позволяет увеличить диапазон глубин до 8,3–55,6 м. 19 октября 2009 г. вышел Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 868 «Об утверждении заключения экспертной комиссии государственной экологической экспертизы материалов программы работ «Морские инженерные изыскания для постановки ПБК «Обский» и СПБУ «Амазон» на точки бурения поисковых скважин на Антипаутинском, Семаковском и Тота-Яхинском месторождениях в составе работ по геологическому изучению недр ООО «Газфлот» и ОАО «Газпром» в 2009–2011 гг.» [10, 11], что подтверждает реальность планов освоения данного района.

В целом, в настоящее время ООО «Газфлот» эксплуатирует, преимущественно на шельфе Карского моря: плавучую полупогружную буровую установку «Полярная звезда»;

плавучую полупогружную буровую установку (ППБУ) «Северное сияние»; самоподъемную буровую установку «Арктическая»; самоподъемную буровую установку (СПБУ) «Амазон»; крановое судно «Газшельф» многофункциональное ледокольное судно «Владислав Стрижов»; многофункциональное ледокольное судно «Юрий Топчев»; транспортно-буксирное судно «Нетун» транспортно-буксирное судно «Сатурн»; транспортно-буксирное судно «Десна»; транспортно-буксирное судно «Дунай»; транспортно-буксирное судно «Кубань»; пассажирское судно «Топаз»; научно-исследовательское судно «Академик Голицын»; танкер-заправщик «Газпромшельф». «Северное сияние» — полупогружная буровая установка (ППБУ) для добычи газа, создана вместе с установкой «Полярная звезда» для эксплуатации на Штокмановском месторождении. Так как планы по освоению Штокмановского месторождения были перенесены, местом работы платформы стал Сахалинский шельф, где платформу установили и запустили в 2013 г.

Таким образом, к настоящему времени, в основном завершены геолого-разведочные и морские инженерные изыскания, дающие возможность начать полномасштабную добычу углеводородного сырья на шельфе Баренцева, Карского морей, а также в районе Обско-Тазовской губы. Однако скорой реализации многих из заявленных проектов препятствует ряд возникающих технических трудностей эксплуатации объектов морской техники в суровых климатических условиях Арктики и необходимость учета жестких экологических требований к надежности работы оборудования и минимизации риска аварий.

Экологические проблемы обеспечения безопасности морехозяйственной деятельности

Климатические и океанологические условия Баренцева и Карского морей, а также близлежащих акваторий Белого моря, особенно опасны для проведения буровых работ из-за крайне низких температур, густых туманов и сильных штормовых ветров. Сложная ледовая обстановка на протяжении от шести до девяти месяцев в году, а также условия длительной полярной ночи могут помешать продвижению спасательных судов в случае нерегулируемого выброса из скважины. Экологическая опасность значительно возрастает при сбросах вод в мелководных островных районах с замедленным водообменом, к которым относятся многие районы Арктического шельфа [1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 14].

В предполагаемых районах освоения запасов углеводородного топлива и в районах, граничащих с ними, располагается ряд особоохраняемых акваторий и территорий: Национальный парк «Русская Арктика» (север Баренцева моря), Большой Арктический заповедник (Карское море и море Лаптевых), Государственный природный заповедник «Ненецкий», Государственный орнитологический заказник «Ненецкий», Государственный региональный комплексный природный заказник «Вайгач» и др. Согласно результатам прогностических работ, выполненных в рамках «Программы по экологической политике нефтегазового сектора» WWF России, в случае возникновения крупномасштабной аварии будет нанесен ущерб популяциям таких животных, как белуха, морж, гренландский тюлень, белый медведь, пострадают также птицы малый лебедь, белошекая казарка, гага-гребенушка, сапсан, орлан-белохвост, беркут, кречет и ихтиофауна. В зоне возможного загрязнения окажется акватория площадью свыше

140 000 км², а также береговая линия протяженностью свыше 3000 км. На рис. 3 представлены возможные нефтяные загрязнения акваторий Баренцева моря и побережий при разливе нефти в 10 тыс. т за 5 сут. в безледный период с июля по сентябрь [13].

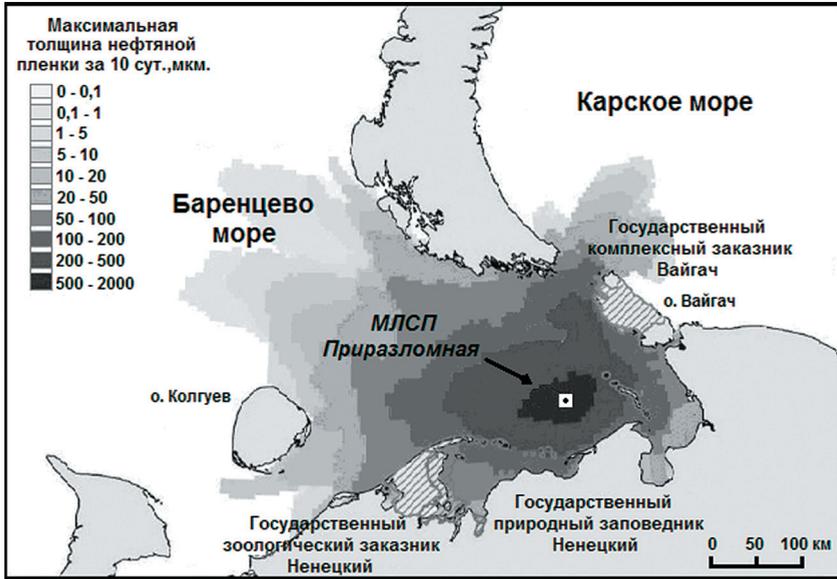


Рис. 3. Возможные нефтяные загрязнения акваторий Баренцева моря и побережий при разливе нефти в 10 тыс. т за 5 сут. в безледный период [13]

Значительную опасность для природной среды, кроме утечек нефти при ее добыче и транспортировке, представляет также утечки неочищенных буровых растворов с содержащимися в них шламом, токсичными солями тяжелых металлов, радионуклидами, с остаточными объемами нефти и загрязнённых нефтью пластовыми грунтовыми водами. Известно, что при бурении только одной скважины глубиной до нескольких тыс. м в среднем образуется около 1000 м³ отработанных буровых растворов и до 300 м³ выделенного из них шлама. При этом следует учитывать, что одна морская буровая платформа может включать от 30 до 100 скважин. При эксплуатации только одной скважины образуется от 100 до 10 000 м³ пластовых вод в сутки. Закачка отработанных буровых растворов и пластовых вод в пласт дорогостояща и невозможна в целом ряде ситуаций, например, при разведывательном бурении, на этапе начала эксплуатации скважины, а также при несоответствии состава буровых и пластовых вод требованиям к воде, закачиваемой в нагнетательные скважины (ОСТ 39-225-88). При этом утилизация этих растворов осуществляется путем сброса в море после очистки или вывоза на берег.

Существующие технологии очистки буровых растворов включают преимущественно многостадийное удаление шлама на виброситах и гидроциклонах (до остаточной концентрации 20 % бетонита и барита), а пластовых вод на сепараторах (остаточное содержание нефти от 20 до 100 мг/л). Однако данные технологии не обеспечивают в полной

мере степень очистки буровых растворов и пластовых вод, соответствующую требованиям РД 153-39-031-98 «Правила охраны вод от загрязнения при бурении скважин на морских нефтегазовых месторождениях», а также требованием МАРПОЛ 73/78, Парижской конвенции по предотвращению загрязнения морей наземными источниками (PARCOM) — International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation (IMO OPRC 1990). Очевидно, что длительные сбросы и большие объемы этих вод, а также присутствие в них остатков нефти и минеральных, в том числе токсичных, примесей делают этот вид отходов одним из главных факторов экологической опасности морских платформ [7, 8, 9].

Для экологической безопасности эксплуатации Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ) представляют также большую угрозу вторжения в данный район, ограниченный широтами 72° 15' с.ш. и 74° 30' с.ш. и долготами 39° 00' в.д. и 48° 00' в.д., айсбергов. Согласно наблюдениям ААНИИ [2, 12], за период с 1950 по 1990 г. удалось зафиксировать всего 29 эпизодов таких вторжений, приходящихся на 10 различных календарных лет. С момента возобновления в 2002 г. регулярных наблюдений за айсбергами в Баренцевом море по настоящее время также удалось обнаружить несколько опасных объектов в планируемой зоне эксплуатации Штокмановского газоконденсатного месторождения. На рис. 4 представлена локализация айсбергов, их обломков и кусков в Баренцевом море в период с 1928 по 2007 г.

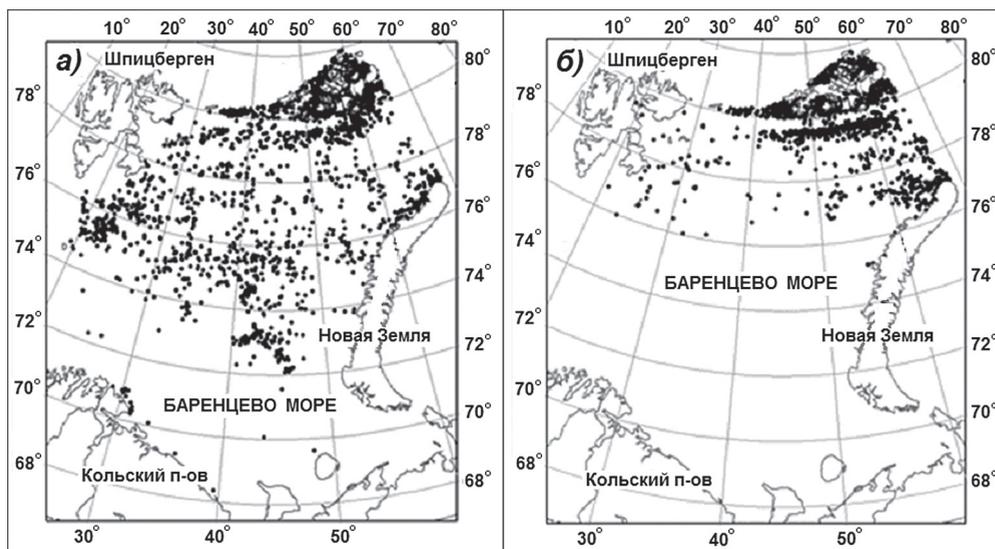


Рис. 4. Местоположение айсбергов, их обломков и кусков, обнаруженных в Баренцевом море в апреле–мае (а) и в сентябре (б) в период с 1928 по 2007 г.

Установление причин, формирующих сезонную, межгодовую и многолетнюю изменчивость количества айсбергов и направлений их дрейфа, является важной научной и практической задачей, которая до настоящего времени в полной мере не решена.

Известно, что баренцевоморские айсберги образуются в районах архипелагов Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и на дальнейший их путь влияют ледовые поля, преобладающие направления ветра и морских течений. Выполненный анализ данных показывает, что вторжения айсбергов в зону расположения в район ШГКМ происходят преимущественно с северо-запада — 38 % случаев и северо-востока — 24 % случаев. Вторжения с запада наблюдаются в 10 % случаев, с востока — в 6 % случаев и очень редко с севера — 3 % случаев. Айсберги, образующиеся на архипелаге Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, выносятся, в конце концов, в Северный Ледовитый океан, где практически сразу попадают в поля многолетних льдов, где могут сохраняться длительное время. Образуются ледово-айсберговые поля с айсбергами весом в несколько млн т. и размером от нескольких десятков до нескольких сотен метров.

Образование ледово-айсберговых полей происходит преимущественно в летне-осенний период, когда между обычными полями морских льдов и местами образования айсбергов имеются незначительные пространства чистой воды, по которым айсберги могут достигать ледовых полей и внедряться в них без заметных процессов деградации. Особый механизм образования ледово-айсберговых полей действует в Карском море, где айсберги, двигаясь от мест их образования на Новой Земле, имеют возможность сразу внедряться в местные ледовые поля, которые впоследствии выносятся либо в Северный Ледовитый океан, либо непосредственно в Баренцево море через пространство между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа. Очевидно, что направленность движения айсбергов, их количество и трансформация зависят от как крупномасштабных климатообразующих процессов, так и от локальных особенностей, связанных с неоднородностями полей течений и очертаниями конкретных акваторий.

Погода и климат Северной Атлантики и прилегающих к ней районов Северной Америки и Евразии в значительной мере зависят от атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, которая представлена системами Исландского минимума и Азорского максимума давления. Указанные системы называют центрами действия атмосферы. Благодаря им в умеренных широтах над Северной Атлантикой постоянно осуществляется перенос воздушных масс с запада на восток. Интенсивность переноса подвержена значительным колебаниям во времени вследствие того, что параметры центров действия, т.е. их положение в пространстве и выраженность, варьируют. За меру интенсивности западного переноса принимают разность атмосферного давления на станциях, расположенных около климатических центров действия [3, 14, 15]. Эту разность давления, определяемую, как правило, в среднем за зимние месяцы, называют Северо-Атлантическим колебанием (North Atlantic Oscillation — NAO). Индекс атмосферной циркуляции NAO широко используется в мировой практике изучения колебаний климата и их причин. Существует 4 варианта индекса Северо-Атлантического колебания, на основе которых нами разработан обобщенный индекс NAOоб., представляющий собой первую главную компоненту разложения четырех индексов на естественные ортогональные составляющие (метод главных компонент). Сравнительный анализ многолетних данных применительно к интенсивности циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой, выражаемой в виде изменчивости значений NAOоб. и общим числом айсбергов в Баренцевом море показал наличие статистически достоверной связи отрицательного характера. Установлено также, что наблюдается

сдвиг к северу южной границы распространения айсбергов на фоне роста значений NAOоб. Иллюстрацией данных закономерностей является рис. 5. В периоды роста градиентов давления между Азорским антициклоническим центром и Исландским минимумом преобладающее направление движения циклонических вихревых структур сдвигается на северо-восток Европы, что приводит к росту скорости Северо-Атлантического течения и поднятию уровня моря на береговых станциях Скандинавского п-ва [3, 14, 15]. Такая ситуация приводит, в свою очередь, к усилению выноса айсбергов из Баренцева моря в Северный Ледовитый океан и соответственно к снижению риска их воздействия на объекты морехозяйственной деятельности занятые в добыче углеводородного сырья, включая буровые платформы и суда снабжения. Применительно к сезонной изменчивости вторжения айсбергов в район планируемого развития Штокмановского газоконденсатного месторождения исследования показали, что в подавляющем большинстве случаев вторжения происходили в мае и июне. Самая поздняя дата относительно начала ледового года зафиксирована 15 июля 1968 г., являющегося годом высокой айсберговой активности. Отметим здесь, что именно за период с 1963 по 1968 г. отмечались минимальные за весь имеющийся многолетний ряд величины всех индексов NAO, что выразилось в ослаблении скоростей и расходов Северо-Атлантического течения [3, 14, 15].

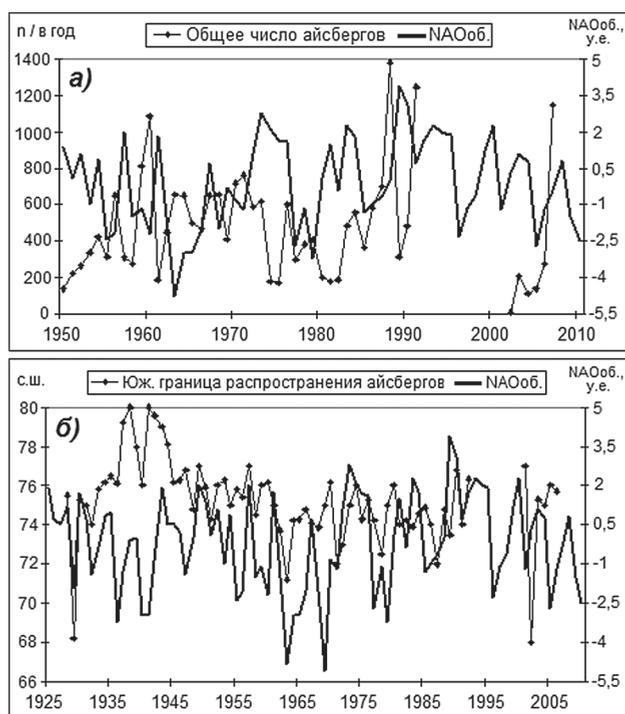


Рис. 5. Сравнение многолетней динамики значений обобщенного индекса атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой NAOоб. с общим числом айсбергов в Баренцевом море в среднем за год (а) и с положением южной границы распространения айсбергов (б).

Структура комплексного экологического мониторинга

Расширение добычи и перевозок нефти и газа в Баренцевом и Карском морях, а также в смежных акваториях, среди которых северо-восточный шельф Баренцева моря, шельф Печорского моря, Приамальский шельф, транспортные пути в акваториях Белого моря, представляют значительную потенциальную угрозу экологически уязвимым арктическим экосистемам. В связи с этим очевидна необходимость разработки специализированных мониторинговых технологий и аналитических приборных комплексов модульного типа, способных в автоматическом или полуавтоматическом режимах осуществлять постоянный контроль за загрязнением морской среды и оперативно передавать результаты в центры принятия управленческих решений. Требуется также создание нового оборудования для глубокой очистки буровых растворов и пластовых вод, обеспечивающих их соответствие требованиям Российских и Международных конвенций с учетом особых требований для экосистем северных морей и Арктического шельфа.

В 2005 г. Морская коллегия при Правительстве Российской Федерации поручила Министерству природных ресурсов, Министерству образования и науки, Федеральному агентству по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды совместно с Российской академией наук проработать вопрос использования морских буровых платформ, осуществляющих разведочное или эксплуатационное бурение на континентальном шельфе России, в качестве технологических носителей системы комплексного многоуровневого экологического и гидрометеорологического мониторинга, а в сейсмоактивных районах и геодинамического мониторинга. На основе анализа передового зарубежного и отечественного опыта создания мониторинговых систем контроля окружающей среды специалистами кафедры экологии Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ), в сотрудничестве с Лабораторией спутниковой океанографии РГГМУ, а также со специалистами из ОАО «Гипрорыбфлот» и ряда других заинтересованных организаций ведется разработка высокоэффективной модульной системы комплексного оперативного экологического мониторинга, предназначенной специально для эксплуатации на объектах морской техники в условиях Арктики. Раннее обнаружение утечек загрязняющих веществ необходимо для своевременного принятия мер по предотвращению крупных аварий. Данные длительного экологического мониторинга используются для отслеживания состояния ключевых экологических параметров и для выделения антропогенных факторов на фоне естественных природных трендов. Это позволяет прогнозировать негативные последствия и принимать адекватные решения для минимизации риска ущерба.

В состав разрабатываемой Системы комплексного оперативного экологического мониторинга включены 6 основных модулей, объединенных в единую Информационно-управляющую систему экологического мониторинга буровых Платформ (ИУСЭМ), представленную на рис. 6:

- модуль метеорологического мониторинга, предназначенный для определения и оценки опасных метеорологических явлений, представляющих угрозу сооружениям и персоналу нефтедобывающей платформы;

- модуль оценки и прогнозирования ледовой обстановки и обеспечения безопасности судового сообщения между нефтедобывающей платформой и береговыми базами снабжения;
- модуль присутствия нефтяных загрязнений в морской среде, обеспечивающий обнаружение утечки и присутствие нефти на водной поверхности с возможностью количественной оценки на основе лидарных локационных технологий и флуоресцентного анализа нефтяного вещества;
- модуль прогнозирования распространения нефтяного загрязнения при аварийных разливах нефти в зависимости от направления ветров, течений и физико-механических свойств льда в районе аварии;
- модуль комплексного гидрохимического анализа, реализуемого в виде сети автоматических и полуавтоматических датчиков-иономеров, расположенных как внутри буровой платформы в зоне очистки и рециклинга буровых растворов, так и вокруг нее, предназначенный для определения концентраций в воде тяжелых металлов, радионуклидов и других токсичных веществ;
- модуль геодинамического мониторинга, предназначенный для: сбора и анализа данных о появлении микроземлетрясений, являющихся следствием буровых работ; оценки изменения углов наклона и наклонных перемещениях морской нефтедобывающей платформы с автоматической подачей сигнала тревоги при превышении нормативного порога; геомеханического моделирования последствий разработки месторождений.



Рис. 6. Структура информационно-управляющей системы экологического мониторинга буровых платформ (ИУСЭМ)

Все указанные модули в Системе комплексного оперативного экологического мониторинга деятельности буровых платформ в условиях Арктики объединены в информационно-управляющую сеть, позволяющую оперативно получать данные

дистанционного зондирования, в том числе с использованием орбитальных спутников и локационных надводных и подводных систем, установленных на самой буровой платформе и в непосредственной близости от нее.

Важным аспектом проектирования и создания подобных Систем комплексного оперативного экологического мониторинга является экономическая эффективность ее внедрения, так как суммарные затраты на закупку, транспортировку, установку, наладку и обслуживание основного оборудования, использование комплектующих и расходных материалов, а также затраты на специализированное программное обеспечение могут быть чрезмерно велики с учетом условий Арктики. Тяжелые климатические условия, жесткие экологические нормативы к проведению морехозяйственной деятельности, сложность и дороговизна имеющихся систем мониторинга, а также весьма высокие затраты на строительство и эксплуатацию самих буровых платформ, в особенности ледостойких, в конечном итоге, могут отрицательно сказаться на темпах освоения новых месторождений. Например, нидерландско-британская компания «Royal Dutch Shell» временно отложила планы проведения буровых работ вблизи Арктического побережья Аляски и на шельфе Чукотского моря, поскольку столкнулась с различными нормативными ограничениями и препятствиями, в том числе экологическими. В Канаде морское бурение в Арктической зоне прекращено до тех пор, пока Национальный совет по энергетике не пересмотрит свои нормы и правила после произошедшей в Мексиканском заливе утечки. Британская нефтегазовая компания «BP» пока воздерживается от строительства буровых платформ в море Бофорта [13].

Разрабатываемая Информационно-управляющая система экологического мониторинга деятельности буровых платформ в условиях Арктики будет обладать необходимой эффективностью и конкурентоспособностью в отношении затрат на ее внедрение и использование. В целом, реализация программ экологического мониторинга производственной морехозяйственной деятельности будет способствовать сближению интересов государства и бизнеса, связанных с использованием и освоением шельфовой зоны, и создаст необходимые условия для экологической безопасности региона и успешного освоения минеральных богатств Арктики российскими компаниями.

Заключение

Обобщение сведений и данных о реализуемых и перспективных проектах добычи нефти и газа на шельфе Баренцева, Карского морей и в смежных акваториях, а также об основных угрозах экологической безопасности морехозяйственной деятельности в Арктике позволяет сформулировать следующие основные выводы.

1. Есть все основания полагать, что перспективные планы освоения углеводородного сырья на российском шельфе морей западной Арктики могут быть претворены в жизнь в течение ближайших 10 лет. Существующая техническая проектная и материальная база с использованием российских и иностранных разработок позволяет обеспечить устойчивую добычу и транспортировку нефти и газа в арктических условиях. Основными препятствиями для скорейшего освоения минеральных богатств региона является необходимость значительных финансовых затрат на создание и развитие транспортной морской и береговой инфраструктуры,

рассчитанной на эксплуатацию в условиях очень низких температур, сложной ледовой обстановки и полярной ночи. Кроме того, соблюдение жестких требований российских и международных нормативных актов и стандартов в области обеспечения экологической безопасности морехозяйственной деятельности в Арктике также предполагает необходимость дополнительных финансовых затрат на организацию комплексного экологического мониторинга и обеспечение повышенной надежности всего применяемого оборудования.

2. Для эффективной борьбы и устранения нефтяных разливов в Баренцевом и Карском морях, особенно в зимний и весенний сезоны с повышенной ледовитостью, требуется разработать новое специальное оборудование, поскольку известные технологий ликвидации разливов нефти предназначены прежде всего для их использования на открытой воде. Поэтому применимость традиционных боновых заграждений значительной протяженности будет возможна далеко не всегда. Ликвидация разливов нефти в ледовых условиях требует длительной и трудоемкой работы по мониторингу состояния разлива, в том числе на льду, под снежным покровом и подо льдом. Локализация нефтяных разливов, захваченных дрейфующими льдами, практически невозможна. Требуется использование данных спутникового зондирования, авиационных средств наблюдения, надводных и наземных локационных средств, а также специальных судов ледового класса, специальных средств сбора нефти во льдах.
3. Внедрение системы комплексного оперативного экологического мониторинга включающей в свой состав ряд модулей со специализированным оборудованием, объединенных в единую Информационно-управляющую систему экологического мониторинга буровых платформ (ИУСЭМ), является необходимым условием для их длительного устойчивого функционирования. При этом, особенно велика роль и значение Модуля оценки и прогнозирования ледовой обстановки, Модуля метеорологического мониторинга, а также Модуля прогнозирования распространении нефтяных загрязнений, которые, работая вместе, обеспечивают решение задач по гидрометеорологическому обеспечению безопасности морехозяйственной деятельности в сложных погодно-климатических условиях Арктики. Это может быть обеспечено применением программно-информационных комплексов, использующих данные специализированных прогнозов Росгидромета, Лаборатории спутниковой океанографии РГГМУ и различных моделей распространения аварийных разливов нефти, например, «SpillMod» или «OilMARS».
4. Требуется концентрация средств предотвращения и локализации аварийных ситуаций не только на береговых базах снабжения, но и на самых морских буровых платформах или на специальных дежурных судах, находящихся в относительной близости от них. Это также важно с позиций резервирования аварийно-спасательных средств на случай отказов оборудования, рабочий ресурс и надежность которого может меняться исходя из условий эксплуатации. Базирование же основных средств обеспечения экологической безопасности в береговых морских пунктах, например, в Мурманске или Архангельске, может существенно уменьшить возможности их оперативного использования и эффективность природоохранных мероприятий.

5. Для работы в трудных ледовых условиях требуется изучить применение и возможности внедрения мобильных и относительно дешевых систем сбора разлившейся нефти, работающих непосредственно с борта судна. Например, скиммерные системы сбора нефти типа «Lamor Recovery Bucket», которые автоматически отделяют нефть, масла, эмульсии и из морской воды в условиях колотого льда, осуществляя работу через пульт дистанционного управления. Собранная с использованием таких систем нефть содержит не более 5 % свободной воды. Эти системы могут легко перемещаться и быстро переустанавливаться в местах локальных скоплений нефти.
6. В условиях полярной ночи исключительное значение имеет эффективность Модуля оценки нефтяных утечек и загрязнений, который обеспечивает дистанционное обнаружение и контроль разливов нефти. Например, норвежский стандарт NOFO (Norsk Oljevernforening For Operatørselskap — Norwegian Clean Seas Association for Operating Companies) предусматривает размещение на дежурных аварийно-спасательных судах системы обнаружения и контроля разливов с использованием судового радара, работающего в X-диапазоне с частотой 8–12 ГГц и длиной волны 2,5–3,75 см. Современные системы оценки нефтяных утечек и загрязнений выполняются в виде приставок к стандартным судовым радарам, являются всепогодными и могут работать в ночное время, обнаруживая разливы объемом более 100 л в условиях волнения до 6 баллов по шкале Бофорта на расстояниях до нескольких морских миль. Примерами коммерчески доступных систем обнаружения и контроля разливов являются система «OSD300046», система «MIROS OSD47» и ряд других.
7. Требуется дальнейшего изучения степени и характера влияния крупномасштабных климатообразующих процессов над Северным полушарием и динамики интенсивности атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой на численность и направления дрейфа айсбергов в Баренцевом и Карском морях. Обнаруженные статистически значимые связи между изменчивостью индексов Северо-Атлантического колебания и численностью айсбергов, а также положением южной границы их распространения в Баренцевом море могут быть использованы в качестве научно-методической базы для совершенствования прогностических моделей айсберговой опасности.

Планируемые и реализуемые разработки основаны на научно-техническом заделе, полученном в РГГМУ при участии в различных проектах, посвященных обеспечению экологической безопасности морехозяйственной деятельности. В частности, в ФЦП «Мировой океан», ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., ФЦП «Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 гг.».

Литература

1. *Абрамов В.М., Карлин Л.Н., Левина А.И., Овсянников А.А.* К вопросу об управлении айсберговыми рисками при освоении Штокмановского газоконденсатного месторождения. // Сб. трудов 7-й междунар. науч.-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности».

- 28–30 апреля 2009 г. — СПб.: СПбГТУ, 2009, с. 383–384.
- Abramov V.M., Karlin L.N., Levina, A.I., Ovsjannikov A.A.* К вопросу об управлени айсберговыми рисками при освоении Штокмановского газоконденсатного месторождения. // Sb. trudov 7-j mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. «Issledovanie, razrabotka i primenenie vysokih tehnologij v promyshlennosti». 28–30 aprelya 2009 g. — SPb.: SPbGTU, 2009, s. 383–384.
2. *Бузин И.В., Глазовский А.Ф., Гудошников Ю.П. и др.* Айсберги и ледники Баренцева моря: исследования последних лет. Часть 1. Основные продуцирующие ледники, распространение и морфометрические особенности айсбергов. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2008, № 1(78), с. 66–79.
Buzin I.V., Glazovskij A.F., Gudoshnikov JU.P. i dr. Ajsbergi i ledniki Barenceva morja: issledovanija poslednih let. CHast' 1. Osnovnye produkcirujushhie ledniki, rasprostranenie i morfometricheskie osobennosti ajsbergov. // Problemy Arktiki i Antarktiki, 2008, № 1(78), s. 66–79.
 3. *Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю., Смирнов Н.П.* Сезонные и многолетние колебания уровня морей Северного Ледовитого океана. — СПб.: РГГМУ, 2000. — 114 с.
Vorob'ev V.N., Kochanov S.JU., Smirnov N.P. Sezonnnye i mnogoletnie kolebanija urovnja morej Severnogo Ledovitogo oceana. — SPb.: RGGMU, 2000. — 114 s.
 4. *Воробьев В.Н., Мутько В.Б.* Пути реализации принципов морского пространственного планирования в технологической платформе «Освоение океана». // Известия ЮФУ. Технические науки, 2013, № 9, с. 9–15.
Vorob'ov V.N., Mit'ko V.B. Puti realizacii principov morskogo prostranstvennogo planirovanija v tehnologicheskoj platforme «Osvoenie oceana». // Izvestija JUFU. Tehnicheskie nauki, 2013, № 9, s. 9–15.
 5. *Дроздов В.В.* Влияние крупномасштабных параметров циркуляции атмосферы на уровненный режим Белого моря. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2011, № 1(87), с. 65–73.
Drozдов V.V. Vlijanie krupnomasshtabnyh parametrov cirkuljacii atmosfery na urovnenyj rezhim Belogo morja. // Problemy Arktiki i Antarktiki, 2011, № 1(87), s. 65–73.
 6. *Дроздов В.В., Смирнов Н.П.* Влияние крупномасштабных циркуляционных процессов в атмосфере на температурный режим Беломорского региона. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2011, № 3(89), с. 78–88.
Drozдов V.V., Smirnov N.P. Vlijanie krupnomasshtabnyh cirkuljacionnyh processov v atmosfere na temperaturnyj rezhim Belomorskogo regiona. // Problemy Arktiki i Antarktiki, 2011, № 3(89), s. 78–88.
 7. *Карлин Л.Н., Абрамов В.М.* Управление энвиронментальными и экологическими рисками. — СПб.: РГГМУ, 2006. — 323 с.
Karlin L.N., Abramov V.M. Upravlenie jenvironmental'nymi i jekologicheskimi riskami. — SPb.: RGGMU, 2006. — 323 s.
 8. *Мутько В.Б., Мутько А.В.* Развитие концепции построения интегрированных систем подводного наблюдения. ОАО «Концерн «МоринфСист. «Агат». Состояние, проблемы и перспективы создания корабельных информационно-управляющих комплексов. // Сб. докладов научно-тех. конф. — М.: ОАО «Моринсис-Агат», 2013. с.148–152.
Mit'ko V.B., Mit'ko A.V. Razvitie koncepcii postroenija integrirovannyh sistem podvodnogo nabljudenija. ОАО «Koncern «MorinfSist. «Agat». Sostojanie, problemy i perspektivy sozdanija korabel'nyh informacionno-upravljajushhij kompleksov. // Sb.dokladov nauchno-teh. konf. — M.: ОАО «Morinsis-Agat», 2013. s.148–152.
 9. *Ивченко Б.П., Михеев В.Л., Смыслов Б.А., Гинтовт А.Р.* Обеспечение национальной безопасности при освоении минерально-сырьевой базы шельфовых месторождений Арктики. — СПб.: ИД «Петрополис», 2011. — 510 с.
Ivchenko B.P., Miheev V.L., Smyslov B.A., Gintovt A.R. Obespechenie nacional'noj bezopasnosti pri osvoenii mineral'no-syr'evoj bazy shel'fovych mestorozhdenij Arktiki. — SPb.: ID «Petropolis», 2011. — 510 s.
 10. Официальный сайт ООО «Газпром нефть шельф». — [http://shelf-neft.gazprom.ru] (дата обращения: 28.03.2014).
Oficial'nyj sajt ООО «Gazprom neft' shel'f». — [http://shelf-neft.gazprom.ru] (data obrashhenija: 28.03.2014).
 11. Официальный сайт ООО «Газфлот». — [http://www.gazflot.ru/flot] (дата обращения: 28.03.2014).
Oficial'nyj sajt ООО «Gazflot». — [http://www.gazflot.ru/flot] (data obrashhenija: 28.03.2014).
 12. Официальный сайт Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт». — [http://www.aari.nw.ru] (дата обращения: 28.11.2013).
Oficial'nyj sajt Federal'nogo gosudarstvennogo bjudzhetnogo uchrezhdenija nauki «Arkticheskij i Antarkticheskij nauchno-issledovatel'skij institut». — [http://www.aari.nw.ru] (data obrashhenija: 28.11.2013).

13. Официальный сайт российского Всемирного фонда дикой природы (WWF России). — [[http:// www.wwf.ru](http://www.wwf.ru)] (дата обращения: 05.08.2013).
Oficial'nyj sajt rossijskogo Vsemirnogo fonda dikoj prirody (WWF Rossii). — [[http:// www.wwf.ru](http://www.wwf.ru)] (data obrashhenija: 05.08.2013).
14. *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Дроздов В.В.* Циклонический центр действия атмосферы и океана в Северной Атлантике. // Ученые записки РГГМУ, 2010, № 12, с. 117–134.
Smirnov N.P., Vorob'ev V.N., Drozdov V.V. Ciklonicheskiy centr dejstvija atmosfery i okeana v Severnoj Atlantike. // Uchenye zapiski RGGMU, 2010, № 12, s. 117–134.
15. *Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю.* Северо-Атлантическое колебание и климат. — СПб.: РГГМУ, 1998. — 122 с.
Smirnov N.P., Vorob'ev V.N., Kochanov S.Ju. Severo-Atlanticheskoe kolebanie i klimat. — SPb.: RGGMU, 1998. — 122 s.