



Научная статья

УДК 504:553.98

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-4-485-495>



Проблемы и вопросы охраны природной среды при освоении углеводородных ресурсов в Мировом океане

Владимир Нишанович Экзарьян^а, Артур Константинович Ахмадиев^б

^{а,б}Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ахмадиев Артур Константинович, art696@mail.ru

Резюме. Нефтегазовая отрасль развивается уже на протяжении 150 лет. Несмотря на существующие прогнозы того, что роль углеводородов во второй половине XXI века может снизиться, в настоящий момент они играют ведущую роль в мировой энергетике. В связи с этим возникает интерес к изучению существующих тенденций развития отрасли. В данной работе авторы дают обзор и проводят анализ данных за 2011–2021 гг., связанных с развитием освоения углеводородных ресурсов в морской среде. Для авторов также было важно рассмотреть, как выделенные ими тенденции отражаются или отразятся на состоянии экосистем. Проведенное исследование показало, что в настоящее время выделяются три основных направления развития добычи углеводородов в Мировом океане: освоение морской Арктики, континентального шельфа и возможность организации промышленной добычи в глубоководных районах Мирового океана. Для каждого из направлений были определены как существующие, так и возможные экологические и техногенные риски. Среди них – потеря морского биоразнообразия, активизация опасных геологических процессов, непредсказуемость океанической среды, техногенные аварии и катастрофы, сбросы буровых и других производственных отходов и т. п. В работе также указаны проблемы, которые предстоит решить нефтегазовой отрасли. К ним можно отнести поиск новых технологий для добычи в глубоководных районах, малоизученность просторов Мирового океана, необходимость новых подходов в управлении экологическими рисками, а также создание правовых основ для регулирования недропользования в новых условиях и районах.

Ключевые слова: углеводороды, добыча нефти, загрязнение морской среды, арктическая экосистема, Мировой океан, Арктика, природный газ, природоохранная деятельность

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-00069-20-02 от 10 сентября 2020 г. (тема № АААА-А20-120092590017-4).

Для цитирования: Экзарьян В. Н., Ахмадиев А. К. Проблемы и вопросы охраны природной среды при освоении углеводородных ресурсов в Мировом океане // Науки о Земле и недропользование. 2021. Т. 44. № 4. С. 485–495. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-4-485-495>.

Original article

Challenges and environmental issues in developing hydrocarbon resources in the World ocean

Vladimir N. Ekzaryan^а, Arthur K. Akhmadiev^б

^{а,б}Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Corresponding author: Arthur K. Akhmadiev, art696@mail.ru

Abstract. The oil and gas industry has been evolving for 150 years. Despite the predictions on the diminishing role of hydrocarbons in the second half of the 21st century, today they play a leading role in the global energy sector. In view of this there is some interest to study current development trends of the industry. This paper reviews and analyses data for the period from 2011 to 2021, which relate to the development of hydrocarbon resources in the marine and ocean environment. It was important for the authors to consider how the trends they highlighted are affecting or will affect ecosystems. The conducted research has showed that today there are three main development trends in hydrocarbon mining in the World ocean: development of the marine Arctic, continental shelf and the possibility to organize commercial production in the deep sea areas of the World ocean. For each of the directions both existing and potential ecological risks have been identified. They include loss of marine biodiversity, activation of dangerous geological processes, unpredictability of ocean environment, man-made accidents and disasters, discharges of drilling and other industrial waste, etc. The work has also identified the challenges facing the oil and gas industry. These include the search for new technologies for deep-sea production, poorly understood depth of the World ocean, need for new approaches in environmental risk management, as well as the creation of a legal framework for subsoil use regulation in new environments and areas.

© Экзарьян В. Н., Ахмадиев А. К., 2021



Keywords: hydrocarbons, oil production, marine pollution, Arctic ecosystem, World ocean, Arctic, natural gas, environmental activities

Funding: the research was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation no. 075-00069-20-02 of September 10th, 2020 (theme no. AAAA-A20-120092590017-4).

For citation: Ekzaryan V. N., Akhmadiev A. K. Challenges and environmental issues in developing hydrocarbon resources in the World ocean. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2021;44(4):485-495. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-4-485-495>.

Введение

На протяжении последнего столетия углеводородные ресурсы являются основой энергопотребления и экономики многих стран мира. Тем не менее современные представления, связанные с развитием «зеленой» энергетики, стремлением к достижению углеродной нейтральности (данная идея, по мнению авторов, спорна) по причине изменения климата, строятся на тезисе о снижении роли углеводородов в мировом энергопотреблении во второй половине XXI века. В одном из недавно опубликованных докладов Международного энергетического агентства (*англ.*: International Energy Agency, IEA) Net zero by 2050¹, а также докладе Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии (*англ.*: Joint Research Centre, JRC) Global energy and climate outlook 2020: a new normal beyond Covid-19² отмечается, что доля нефти и газа в энергопотреблении может снизиться до 45–20 %. В данных же докладах, а также в работах ряда специалистов (например, А. М. Мастепанова [1]) делается акцент и на том факте, что пандемия COVID-19 уже внесла коррективы в энергетическую политику.

Между тем, следует заметить, что подобные прогнозы неоднозначны ввиду того, что энергетический рынок динамичен. Они также предлагают различные сценарии развития, что отражается на существенном расхождении в определении доли углеводородов в энергопотреблении. Часть идей можно отнести к чисто конъюнктурным. Даже допустимое значительное снижение роли углеводородов еще не говорит о полном отказе от них. Следует полагать, что мир вряд ли будет готов уйти от данного вида топлива.

Принимая во внимание данное утверждение и исходя из этого, что в настоящий момент вклад углеводородов в энергетику многих стран значителен, особое внимание следует уделить изучению направлений развития добычи углеводородов, в частности морской добыче. А исходя из того, что наша планета подвергается все большему давлению из-за деятельности человека по эксплуатации природных ресурсов, важно отметить, как разработка месторождений нефти и газа влияет или может влиять на состояние природной среды в морских условиях.

Материалы и методы исследования

В основе проведенного исследования лежит обзор и анализ публикаций, а также данных Международного энергетического агентства и нормативно-правовых актов Российской Федерации по теме исследования. В отношении публикаций с целью отражения наиболее актуальной информации был взят десятилетний временной промежуток с 2011 по 2021 г. В ходе работы рассматривались исследовательские статьи, эмпирические отчеты, монографии.

Вначале был проведен поиск информации в международных исследовательских базах данных, таких как SpringerLink, Taylor & Francis Online, Brill, Oxford Academic Journals (Oxford University Press). Поиск интересующих нас работ российских авторов проводился посредством Научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU), а поиск нормативно-правовой документации – с помощью базы Электронного фонда нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» (Docs.cntd.ru).

¹ Net Zero by 2050 // [iea.org](https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (24.08.2021).

² Global energy and climate outlook 2020: a new normal beyond Covid-19 // [Publications.jrc.ec.europa.eu](https://publications.jrc.ec.europa.eu). [Электронный ресурс]. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC123203> (24.08.2021).



При осуществлении поиска использовались следующие ключевые слова и тематические направления: нефть, океан, углеводороды, добыча нефти, газогидраты, загрязнение морской среды, арктическая экосистема, добыча полезных ископаемых в океане, разграничение морского дна, бурение в океане, науки об океане, науки об окружающей среде. Данные слова и словосочетания должны были появляться в названии работы, ключевых словах или аннотации.

Кроме того, был произведен поиск конкретных и специфических данных, уточняющих существующие и прогнозные запасы углеводородов в таких районах, как Арктика, Черноморско-Каспийский регион, Мировой океан в целом. Выбор регионов был связан со степенью и перспективностью их освоения, углеводородным потенциалом, наличием значительного существующего или прогнозного нефтяного загрязнения и ролью в мировой энергетике, геополитике.

В ходе работы были использованы следующие критерии включения: исследования должны были соответствовать поставленным задачам, быть первичными исследованиями, обзорами или отражать наиболее значимые особенности темы, быть опубликованными в рецензируемых изданиях и доступными в полном объеме.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время выделяются три основных направления развития добычи углеводородов в Мировом океане: освоение морской Арктики (выделение данного направления, по мнению авторов, обусловлено экономико-политическими причинами), континентального шельфа и возможность организации промышленной добычи в глубоководных районах Мирового океана. Выделенные направления

описаны и отмечены во многих работах [2 –7]. Устремление вглубь Арктики и на шельф содержится также в стратегических документах России^{3–5}. Здесь мы лишь присоединяемся к выводам авторов и дополняем их в части вопросов об экологических рисках, безопасности и управлении при освоении углеводородных ресурсов в обозначенных направлениях. Отмечаем опасения по отношению к сохранности природной среды в указанных районах.

Интерес, который проявляется к вышеописанным направлениям, связан с их углеводородным потенциалом. Так, например, Арктика содержит огромные запасы нефти и газа, и по мере уменьшения толщины морского льда промышленность неизбежно будет стремиться к разработке разведанных месторождений. По данным Геологической службы Соединенных Штатов Америки (*англ.*: United States Geological Survey, USGS), Арктика содержит 13 % неоткрытых мировых запасов нефти и 30 % неоткрытых традиционных ресурсов природного газа, в основном (84 %) эти ресурсы расположены в прибрежных осадочных бассейнах. Между тем А. Э. Конторович и др. дают наиболее вероятную оценку ресурсов по российскому арктическому шельфу и глубоководным зонам Северного Ледовитого океана: это 52 млрд т нефти и конденсата (извлекаемые запасы) и 90 трлн м³ газа [3]. В настоящее время уже ведется разработка морских месторождений региона: первая морская арктическая буровая установка «Приразломная», эксплуатируемая российской газовой компанией «Газпром», начала добычу нефти в 2013 г. в Печорском море. США активно разрабатывают месторождение Нортстар в море Бофорта, а Норвегия начала добычу природного газа на месторождении Снёвит в Баренцевом море в 2007 г. и добычу нефти на месторождении Голиаф в 2016 г. [8].

³ Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р // Docs.cntd.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068231> (24.08.2021).

⁴ Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р // Docs.cntd.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/552051127> (24.08.2021).

⁵ Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации: указ Президента РФ от 13.05.2019 № 216 // Docs.cntd.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554531904> (24.08.2021).



Углеводородный потенциал частично связанного с Мировым океаном Черноморско-Каспийского региона – одного из самых освоенных и осваиваемых – считается в настоящее время до конца не исчерпанным. В акватории данного региона только в российском секторе Каспийского моря заключается более 0,3 млрд т нефти и 664,2 млрд м³ природного газа⁶. На данный момент в отмеченном секторе разрабатываются такие крупные месторождения, как им. Ю. Корчагина, Западно-Ракушечное, Центральное и др. Кроме того, в Каспийском море имеются месторождения-гиганты Тенгиз и Кашаган. По прогнозам Международного энергетического агентства, в результате проводимых на шельфе Каспия масштабных работ к 2035 г. доля Каспийского региона в мировом экспорте энергоносителей может достигнуть 9 % при сохранении существующего сценария развития отрасли [9]. Район Черного моря обладает значительными запасами природного газа и менее существенными запасами нефти. Так, по существующим данным, суммарные ресурсы Черного и Азовского морей оцениваются в 2 трлн м³ газа, 435 млн т нефти [10]. Между тем, необходимо отметить, что оценки содержания нефти в Черном море разнятся. Одно из относительно недавних исследований показывает, что в российской части Черного моря содержится порядка 600 млн т нефти [11]. Ввиду этого существует необходимость доизучения его углеводородного потенциала. Также необходимо отметить, что через Черное море пролегают важные транспортные коридоры поставок углеводородов.

Нефтегазоносный потенциал основных осадочных бассейнов шельфа Мирового океана, в свою очередь, в целом может ориентировочно оцениваться в 508,2 млрд т нефти, 638,7 трлн м³ газа (на 2013 г.) [12]. О реально же существующих запасах пока можно только догадываться, поэтому необходимо геологическое доизучение Мирового океана.

Для континентальных месторождений свойственно постепенное истощение, поэтому

неудивительно, что мы рассматриваем в качестве источника ископаемого топлива морскую среду и просторы океана. В данной работе мы ограничимся кратким обзором углеводородного потенциала некоторых частей Мирового океана и сопредельных территорий и далее перейдем к геоэкологическим аспектам.

Промышленное освоение Арктики или же продвижение в глубины океана неразрывно связано с повышением экологических и техногенных рисков (таблица). Одной из самых значительных опасностей являются разливы нефти, происходящие в результате прорыва скважин или во время движения танкеров [4]. С самых первых шагов в морской добыче и по настоящее время эта проблема остается актуальной. По различным оценкам, в морских экосистемах за последние пять лет было разлито более 40 тыс. т нефти [13]. Как указывают Б. Батстон и С. Белфорд [14], почти 48 % нефти попадает в океаны в результате разливов и незаконных сбросов с судов. Главным побочным эффектом от разливов для живых организмов становится формирование зон гипоксии, при котором в морской воде создается слой, препятствующий прохождению кислорода, что в итоге приводит к гибели организмов. Имеются в наличии и данные о том, что отдельные соединения нефти (например, полициклические ароматические углеводороды) обладают мутагенным и генотоксическим действием за счет образования аддуктов дезоксирибонуклеиновой кислоты [15]. В этом ключе интересны исследования [16–18], которые более подробно описывают механизмы воздействия нефти на обитателей морской среды.

На видовое разнообразие оказывают воздействие и проводимые буровые работы. Существующие эксперименты по изучению воздействия отложений от морских буровых работ, в том числе от большого количества бурового шлама, показали значительное снижение количества таксонов, численности, биомассы и разнообразия в случае, если шлам добавлялся к естественным порогам седиментации [24]. Кроме того, аккумуляция

⁶ О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году: государственный доклад Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации // Mnr.gov.ru. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/ (24.08.2021).



Ключевые существующие и потенциальные экологические и техногенные риски, а также их последствия при морской добыче
Key existing and potential environmental and anthropogenic risks and their consequences in offshore mining

Арктика (прибрежная и морская часть)	Континентальный шельф	Глубоководные районы океана
Взрывы и утечки с нефте- и газопроводов		Изменения топографии и геохимических характеристик морского дна
Столкновение судов со льдами		
Изъятие и перемещение грунтов при строительстве платформ и нефтяных терминалов, укладке трубопроводов		Снижение устойчивости морского дна
Эвтрофирование прибрежных вод		
Выбросы с судов, платформ и загрязнение воздуха при добыче и транспортировке полезных ископаемых		
Столкновение судов с морскими нефтяными сооружениями (установками), аварийные разливы нефти, возгорания, формирование зон гипоксии		
Изменение путей миграции морских видов и их разнообразия		
Непреднамеренное вселение (инвазия) чужеродных видов из других морских регионов при сбросе балластных вод из нефтяных танкеров		
«Акустическое загрязнение» водных масс		
Деградация морской среды обитания		

Примечание. Составлено по материалам источников [5, 19–23].

Note. Compiled from the sources [5, 19–23].

данных растворов или их составляющих приводит к повышению общего органического углерода и формированию бескислородных условий [22, 25]. Здесь необходимо особо обратить внимание на моря северных широт, наполненные множеством видов, которые, как правило, обладают незначительными размерами, ограниченной гибкостью, малоподвижны и обитают преимущественно близко ко дну [26]. Они представляются теми, кто попадает в зону риска при организации глубоководного бурения и добычи ресурсов со дна, что в итоге должно являться основанием для тщательного и обоснованного выбора участка для будущего морского нефтегазового комплекса. Не учитывать такой фактор, на наш взгляд, невозможно.

Для морской экосистемы, помимо всего прочего, важен и показатель шума. Разведка и разработка всегда сопровождаются звуковым воздействием на окружающее пространство. Соответственно, возникающее шумовое загрязнение, например при организации подводной добычи, ввиду того, что звуковые волны в толще морской воды распространяются на большие расстояния от их источника, непосредственно будет воздействовать на виды, наиболее чувствительные к увеличению подводного шума, перемене его частот.

В этом контексте необходимо обратить внимание на исследование Э. Хокинса и А. Поппера [27] о подходах к оценке воздействия подводного шума на морских рыб и беспозвоночных. К наиболее важным, на наш взгляд, выводам авторов работы можно отнести утверждения о необходимости проведения исследований поведения и слуха у рыб и беспозвоночных в акустической среде, максимально приближенной к их естественной среде обитания, с целью уточнения реакции живых организмов на шум на различных глубинах, а также о том, что технологии по моделированию распространения звука и его поведению в морской среде развиты недостаточно и / или их исследования проводились на недостаточном уровне для того, чтобы сложить цельную картину о природе распространения звука в данном виде среды.

В качестве еще одного аспекта нам также хотелось бы осветить воздействие добычи на геологическую среду. Так, например, известным негативным явлением, сопровождающим разработку многих месторождений на акваториях и суше, является значительное проседание морского дна или поверхности суши при разработке залежей, возникающее за счет уплотнения резервуара при извлечении углеводородов, которое сопровождается падением



пластового давления. Такие процессы выявлены на ряде морских месторождений Норвегии (Экофиск, Валхалл), на прибрежных месторождениях в США (Уилмингтон), в Черноморско-Каспийском районе (Сураханы, Тенгиз). Проблема проседания в районе месторождения Экофиск – одна из самых старых и известных. К 1987 г. в центральной части месторождения морское дно просело более чем на 3 м, а к 2013 г. – более чем на 10 м [28]. Необходимо также отметить, что морская добычная инфраструктура обладает и повышенными нагрузками на грунт [29], что вносит свой вклад в увеличение воздействия (давления) на геологическую среду. Таким образом, можно проследить взаимосвязанную цепочку операций, которую мы наглядно изобразили в виде рисунка.

В Мировом океане также развиты оползневые процессы (например, подводные оползни в Северном море, Северо-восточный Атлантике), тектонические сдвиги и землетрясения (например, в Тихом и Индийском океанах), склоновые и другие геопроцессы [5], и нельзя исключать возможность связи между добычей и активизацией отмеченных процессов. Однако в настоящее время данная проблема применительно к морским условиям до сих пор остается малоизученной. Несмотря на это очевидно, что данные процессы оказывают влияние на особенности миграции видов и, кроме прочего, на состояние самих нефтегазовых сооружений, а также повышают риск возникновения техногенных аварий.

Отдельным вопросом является также организация добычи в глубоководных районах Мирового океана. Здесь существует ряд принципиальных и нерешенных проблем.

Во-первых, человеческие знания о глубинах Мирового океана до сих пор малы и обрывочны. Так, в Докладе о науке в Мировом океане за 2017 г. отмечено, что многим странам

не хватает фундаментальных научных знаний о нем и это не позволяет организовывать эффективное управление океаническими ресурсами [30]. В настоящий момент отсутствуют и исследования о возможных возмущениях океана в случае промышленной добычи [31]. Более того, не располагаем мы и достоверными данными о запасах полезных ископаемых, в том числе углеводородов, в его толщах, что отмечалось и ранее. Эти и другие вопросы рождают необходимость увеличения масштабов изучения Мирового океана, а также уточнения уже известного о нем.

Во-вторых, научно-технологические возможности организации бурения в морской среде и на больших глубинах на данный момент ограничены. Причина тому – уровень технико-технологического развития, недостаток знаний о глубинном бурении и процессах, протекающих в Мировом океане. Поэтому стоит принять во внимание, что в случае организации широкой (промышленной) глубоководной добычи (бурения) необходимо рассмотреть возможность типизации морской территории с целью выделения зон, в которых добыча нецелесообразна, исходя из геологических критериев (в качестве таких критериев могут выступать, например, степень проявления геопроцессов, богатое видовое или популяционное биоразнообразие, уникальные морские ландшафты, представляющие экологическую и научную ценность, территории традиционного природопользования).

В-третьих, большая часть Мирового океана является достоянием всего человечества и не находится под юрисдикцией какой-либо одной страны или группы стран. В ряде работ [32, 33] отмечается, что сегодня правовые проблемы организации добычи полезных ископаемых в Мировом океане до сих пор не разрешены, что приводит или может привести к спорам и конфликтам между государ-



Простейшая принципиальная схема взаимосвязи добычи, геологической среды и загрязнения
(составлена авторами)

Elementary schematic diagram of mining, geological environment and pollution relationship
(compiled by the authors)



ствами или добывающими компаниями. Необходимо уточнить, что здесь имеются в виду территориальные притязания, вопросы границ и собственности ресурсов. Так, например, в настоящее время Канада, Королевство Дания и Российская Федерация утверждают, что хребет Ломоносова является продолжением их собственного континентального шельфа, в то время как Соединенные Штаты Америки заявляют, что это океанический хребет, а следовательно, он по определению не может быть продолжением континентального шельфа какого-либо государства. Между Канадой и Данией также ведется спор о линии разграничения на острове Ганса и в море Линкольна [34].

Подобные споры существуют и в районах Тихого океана. Новая Зеландия, Соломоновы Острова, Папуа – Новая Гвинея, Федеральные Штаты Микронезии, Республика Фиджи, Республика Вануату и Острова Кука, Республика Кирибати и Тувалу заявляют свои права на внешний континентальный шельф [35]. К наиболее старым и неразрешенным конфликтам относится и спор о морских границах в Южно-Китайском море [36]. Таким образом, можно видеть, что нормы морского права и международного права сталкиваются с интересами государств.

Гипотетическая попытка разделения на национальные сектора видится сомнительной ввиду того, что нет четкого механизма, который позволил бы это сделать. Действующая Конвенция Организации Объединенных Наций по морскому праву (*англ.*: United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS), например, оставляет в ведении государств континентальный шельф, внешнюю экономическую зону. При этом нормы, касающиеся использования «района» (отдельно выделенных областей морского дна, которые не находятся под юрисдикцией государств), очень обширны, а существующие правила делают акцент на редкоземельных и тяжелых металлах. Кроме того, положения упомянутой Конвенции подвергаются сомнениям со стороны ряда государств (например, США, Турции, Ирана и др.), которые так и не подписали или не ратифицировали ее.

В качестве же последнего, но, наверное, самого главного пункта авторам данного исследования хотелось бы отметить, что Мировой океан – это уникальнейшая, неповторимая экосистема, жизненно необходимая для человека и планеты. Факты антропогенного давления на него в настоящее время уже многочисленны. Авторы остановились лишь на некоторых из них. И стоит полагать, что без экосистемного и риск-ориентированного подхода освоение ресурсов – в первую очередь минеральных – дна этой части планеты нецелесообразно или по крайней мере затруднительно и возможно только в отдаленной перспективе.

Заключение

Предлагаемая работа не является всеобъемлющим обзором о воздействии нефтегазовой отрасли на морские экосистемы и прибрежные территории. Скорее, она резюмирует наиболее актуальные проблемы, определяет ключевые пробелы в наших знаниях о морской и океанической среде. В частности, можно заключить, что наиболее актуальными среди существующих проблем, можно даже сказать, вызовами являются: поиск новых технологий для добычи в глубоководных районах Мирового океана в случае, если будет принят консенсус о целесообразности такой добычи; малоизученность просторов Мирового океана; поиск пути баланса между потребностями общества в сырье и сохранением биоразнообразия, особенно в чувствительных морских экосистемах; совершенствование методик предотвращения техногенных аварий и катастроф, управления экологическими рисками (необходимость перехода на экосистемные и риск-ориентированные подходы). Стоит отметить, что даже с учетом возможности снижения роли нефтегазовой отрасли и перехода к низкоуглеродной политике вопросы нефтяного загрязнения остаются актуальными, а от решения отмеченных проблем будет зависеть то, какое место углеводороды займут в будущем в мировой энергетике и удержат ли они свое преимущество.



Список источников

1. Мастепанов А. М. От ковидного «сегодня» к низкоуглеродному «завтра»: анализ зарубежных прогнозов развития мировой энергетики // Георесурсы. 2021. Т. 23. № 3. С. 42–52. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.7>.
2. Guilhon M., Montserrat F., Turra A. Recognition of ecosystem-based management principles in key documents of the seabed mining regime: implications and further recommendations // ICES Journal of Marine Science. 2021. Vol. 78. Iss. 3. P. 884–899. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa229>.
3. Прищеп О. М., Нефедов Ю. В., Григорьев Г. А. Перспективы дальнейшего изучения и освоения углеводородного потенциала арктического шельфа Печоро-Баренцевоморского региона // Научный журнал российского газового общества. 2019. № 3-4. С. 5–20.
4. Edwards R., Evans A. The challenges of marine spatial planning in the Arctic: Results from the ACCESS programme // Ambio. 2017. Vol. 46. P. 486–496. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0959-x>.
5. Ehlers P. Blue growth and ocean governance – how to balance the use and the protection of the seas // WMU Journal of Maritime Affairs. 2016. Vol. 15. P. 187–203. <https://doi.org/10.1007/s13437-016-0104-x>.
6. Petrick S., Riemann-Campe K., Hoog S., Growitsch C., Schwind H., Gerdeset R., et al. Climate change, future Arctic Sea ice, and the competitiveness of European Arctic offshore oil and gas production on world markets // Ambio. 2017. Vol. 46. P. 410–422. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0957-z>.
7. Tanaka Y., Martinez Romera B. Emerging issues on arctic environmental and climate change governance: introduction // The International Journal of Marine and Coastal Law. 2020. Vol. 35. Iss. 3. P. 429–438. <https://doi.org/10.1163/15718085-BJA10034>.
8. Harris P. T., Macmillan-Lawler M., Kullerud L., Rice J. C. Arctic marine conservation is not prepared for the coming melt // ICES Journal of Marine Science. 2018. Vol. 75. Iss. 1. P. 61–71. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx153>.
9. Рубан Л. С. Обеспечение энергетической и экологической безопасности Каспийского региона // Экологический вестник России. 2013. № 11. С. 26–29.
10. Виноградов О. Нефть и газ Крыма: потери и приобретения // Нефтегазовая вертикаль. 2014. № 8. С. 4–7.
11. Немировская И. А. Уровни и генезис углеводородов в прибрежных районах российского сектора Черного моря // Труды Государственного океанографического института. 2019. № 220. С. 221–243.
12. Истратов И. В. Нефтегазоносность и ресурсный потенциал основных осадочных бассейнов Мирового океана // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2013. № 5. С. 32–42.
13. Arora N. K. Bioremediation: a green approach for restoration of polluted ecosystems // Environmental Sustainability. 2018. Vol. 1. P. 305–307. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-00036-y>.
14. Batstone B., Belford S. Oil and gas: exploration and risk // The future of ocean governance and capacity development. Leiden: Brill – Nijhoff, 2019. P. 401–406.
15. Duran R., Cravo-Laureau C. Role of environmental factors and microorganisms in determining the fate of polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment // FEMS Microbiology Reviews. 2016. Vol. 40. Iss. 6. P. 814–830. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuw031>.
16. Balk L., Hylland K., Hansson T., Berntssen M. H. G., Beyer J., Jonsson G., et al. Biomarkers in natural fish populations indicate adverse biological effects of offshore oil production // PLoS ONE. 2011. Vol. 6. Iss. 5. P. e19735. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019735>.
17. Main C. E., Ruhl H. A., Jones D. O. B., Yool A., Thornton B., Mayor D. J. Hydrocarbon contamination affects deep-sea benthic oxygen uptake and microbial community composition // Deep-Sea Research. Part I: Oceanographic Research Papers. 2015. Vol. 100. P. 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2014.12.008>.
18. Sørhus E., Incardona J. P., Karlsen Ø., Linbo T., Sørensen L., Nordtug T., et al. Crude oil exposures reveal roles for intracellular calcium cycling in haddock craniofacial and cardiac development // Scientific Reports. 2016. Vol. 6. P. 31058. <https://doi.org/10.1038/srep31058>.
19. Roux S., Horsfield C. Chapter 13. Review of national legislations applicable to seabed mineral resources exploitation // The law of the seabed / ed. C. Banet. Leiden: Brill – Nijhoff, 2020. P. 287–314.
20. Bashir I., Lone F. A., Bhat R. A., Mir S. A., Dar Z. A., Dar S. A. Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems // Bioremediation and biotechnology / eds. K. R. Hakeem, R. A. Bhat, H. Qadri. Cham: Springer, 2020. P. 1–26.
21. Gómez C., Green D. R. Small unmanned airborne systems to support oil and gas pipeline monitoring and mapping // Arabian Journal of Geosciences. 2017. Vol. 10. P. 202. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2989-x>.
22. Ramirez-Llodra E. Chapter 2. Deep-sea ecosystems: biodiversity and anthropogenic impacts // The law of the seabed / ed. C. Banet. Leiden: Brill – Nijhoff, 2020. P. 36–60.
23. Hassel M., Utne I. B., Vinnem J. E. Allision risk analysis of offshore petroleum installations on the Norwegian Continental Shelf – an empirical study of vessel traffic patterns // WMU Journal of Maritime Affairs. 2017. Vol. 16. P. 175–195. <https://doi.org/10.1007/s13437-016-0123-7>.
24. Carpenter A. Oil pollution in the North Sea: the impact of governance measures on oil pollution over several decades // Hydrobiologia. 2019. Vol. 845. P. 109–127. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3559-2>.
25. Ramirez-Llodra E., Tyler P. A., Baker M. C., Bergstad O. A., Clark M. R., Escobar E., et al. Man and the last great wilderness: human impact on the deep sea // PLoS ONE. 2011. Vol. 6. Iss. 8. P. e22588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022588>.
26. Skern-Mauritzen M., Olsen E., Huse G. Opportunities for advancing ecosystem-based management in a rapidly changing, high latitude ecosystem // ICES Journal of Marine Science. 2018. Vol. 75. Iss. 7. P. 2425–2433. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy150>.
27. Hawkins A. D., Popper A. N. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates // ICES Journal of Marine Science.



2017. Vol. 74. Iss. 3. P. 635–651. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw205>.

28. Керимов В. Ю., Сенин Б. В., Богоявленский В. И., Шилов Г. Я. Геология, поиски и разведка месторождений углеводородов на акваториях Мирового океана: монография. М.: Недра, 2016. 410 с.

29. Braathen A., Brekke, H. Chapter 1. Characterizing the seabed: a geoscience perspective // *The law of the seabed* / ed. C. Banet. Leiden: Brill – Nijhoff, 2020. P. 21–35.

30. Winther J.-G., Dai M., Rist T., Hoel A. H., Li Y., Trice A., et al. Integrated ocean management for a sustainable ocean economy // *Nature Ecology & Evolution*. 2020. Vol. 4. P. 1451–1458. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1259-6>.

31. Levin L. A., Amon D. J., Lily H. Challenges to the sustainability of deep-seabed mining // *Nature Sustainability*. 2020. Vol. 3. P. 784–794. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0558-x>.

32. Ranganathan S. Ocean floor grab: international law and the making of an extractive imaginary // *European*

Journal of International Law. 2019. Vol. 30. Iss. 2. P. 573–600. <https://doi.org/10.1093/ejil/chz027>.

33. Queffelec B., Bonnin M., Ferreira B., Bertrand S., Da Silva S. T., Diouf F., et al. Marine spatial planning and the risk of ocean grabbing in the tropical Atlantic // *ICES Journal of Marine Science*. 2021. Vol. 78. Iss. 4. P. 1196–1208. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab006>.

34. Skaridov A. S. Chapter 5. The seabed in the High North – how to address conflicts? // *The law of the seabed* / ed. C. Banet. Leiden: Brill – Nijhoff, 2020. P. 104–124.

35. Jenisch U. K. Old laws for new risks at sea: mineral resources, climate change, sea lanes, and cables // *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2012. Vol. 11. P. 169–185. <https://doi.org/10.1007/s13437-012-0018-1>.

36. Werle D., Boudreau P. R., Brooks M. R., Butler M. J. A., Charles A., Coffen-Smout S., et al. Looking ahead: ocean governance challenges in the twenty-first century // *The future of ocean governance and capacity development*. Leiden: Brill – Nijhoff, 2019. P. 533–542.

References

1. Mastepanov A. M. From Covid “today” to low-carbon “tomorrow”: analysis of foreign forecasts for the development of world energy. *Georesursy*. 2021;23(3):42-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.7>.

2. Guilhon M., Montserrat F., Turra A. Recognition of ecosystem-based management principles in key documents of the seabed mining regime: implications and further recommendations. *ICES Journal of Marine Science*. 2021;78(3):884-899. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa229>.

3. Prishchepa O. M., Nefedov Y. V., Grigoriev G. A. Prospects for further study and development of the hydrocarbon potential of the Russian arctic shelf. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo gazovogo obshchestva = Scientific Journal of the Russian Gas Society*. 2019;3-4:5-20. (In Russ.).

4. Edwards R., Evans A. The challenges of marine spatial planning in the Arctic: Results from the ACCESS programme. *Ambio*. 2017;46:486-496. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0959-x>.

5. Ehlers P. Blue growth and ocean governance – how to balance the use and the protection of the seas. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2016;15:187-203. <https://doi.org/10.1007/s13437-016-0104-x>.

6. Petrick S., Riemann-Campe K., Hoog S., Growitsch C., Schwind H., Gerdeset R., et al. Climate change, future Arctic Sea ice, and the competitiveness of European Arctic offshore oil and gas production on world markets. *Ambio*. 2017;46:410-422. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0957-z>.

7. Tanaka Y., Martinez Romera B. Emerging issues on arctic environmental and climate change governance: introduction. *The International Journal of Marine and Coastal Law*. 2020;35(3):429-438. <https://doi.org/10.1163/15718085-BJA10034>.

8. Harris P. T., Macmillan-Lawler M., Kullerud L., Rice J. C. Arctic marine conservation is not prepared for the coming melt. *ICES Journal of Marine Science*. 2018;75(1):61-71. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx153>.

9. Ruban L. S. Ensuring energy and environmental security in the Caspian region. *Ekologicheskii vestnik Rossii*.

2013;11:26-29. (In Russ.).

10. Vinogradov O. Crimean oil and gas: losses and gains. *Neftegazovaya vertikal'*. 2014;8:4-7. (In Russ.).

11. Nemirovskaya I. A. Levels and genesis of hydrocarbons in coastal areas of the Russian sector of the Black Sea. *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta*. 2019;220:221-243. (In Russ.).

12. Istratov I. V. Oil and gas content and resource potential of major sedimentary basins in the World ocean. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik “Vesti gazovoy nauki”*. 2013;5:32-42. (In Russ.).

13. Arora N. K. Bioremediation: a green approach for restoration of polluted ecosystems. *Environmental Sustainability*. 2018;1:305-307. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-00036-y>.

14. Batstone B., Belford S. Oil and gas: exploration and risk. In: *The future of ocean governance and capacity development*. Leiden: Brill – Nijhoff, 2019. p.401–406.

15. Duran R., Cravo-Laureau C. Role of environmental factors and microorganisms in determining the fate of polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment. *FEMS Microbiology Reviews*. 2016;40(6):814-830. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuw031>.

16. Balk L., Hylland K., Hansson T., Berntssen M. H. G., Beyer J., Jonsson G., et al. Biomarkers in natural fish populations indicate adverse biological effects of offshore oil production. *PLoS ONE*. 2011;6(5):e19735. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019735>.

17. Main C. E., Ruhl H. A., Jones D. O. B., Yool A., Thornton B., Mayor D. J. Hydrocarbon contamination affects deep-sea benthic oxygen uptake and microbial community composition. *Deep-Sea Research. Part I: Oceanographic Research Papers*. 2015;100:79-87. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2014.12.008>.

18. Sørhus E., Incardona J. P., Karlsen Ø., Linbo T., Sørensen L., Nordtug T., et al. Crude oil exposures reveal roles for intracellular calcium cycling in haddock craniofacial and cardiac development. *Scientific Reports*. 2016;6:



31058. <https://doi.org/10.1038/srep31058>.

19. Roux S., Horsfield C. Chapter 13. Review of national legislations applicable to seabed mineral resources exploitation. In: Banet C. (ed.). *The law of the seabed*. Leiden: Brill – Nijhoff; 2020. p.287–314.

20. Bashir I., Lone F. A., Bhat R. A., Mir S. A., Dar Z. A., Dar S. A. Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems. In: Hakeem K. R., Bhat R. A., Qadri H. (eds.). *Bioremediation and biotechnology*. Cham: Springer; 2020. p.1–26.

21. Gómez C., Green D. R. Small unmanned airborne systems to support oil and gas pipeline monitoring and mapping. *Arabian Journal of Geosciences*. 2017;10:202. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2989-x>.

22. Ramirez-Llodra E. Chapter 2. Deep-sea ecosystems: biodiversity and anthropogenic impacts. In: Banet C. (ed.). *The law of the seabed*. Leiden: Brill – Nijhoff; 2020. p.36–60.

23. Hassel M., Utne I. B., Vinnem J. E. Allision risk analysis of offshore petroleum installations on the Norwegian Continental Shelf – an empirical study of vessel traffic patterns. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2017;16:175-195. <https://doi.org/10.1007/s13437-016-0123-7>.

24. Carpenter A. Oil pollution in the North Sea: the impact of governance measures on oil pollution over several decades. *Hydrobiologia*. 2019;845:109-127. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3559-2>.

25. Ramirez-Llodra E., Tyler P. A., Baker M. C., Bergstad O. A., Clark M. R., Escobar E., et al. Man and the last great wilderness: human impact on the deep sea. *PLoS ONE*. 2011;6(8):e22588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022588>.

26. Skern-Mauritzen M., Olsen E., Huse G. Opportunities for advancing ecosystem-based management in a rapidly changing, high latitude ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*. 2018;75(7):2425-2433. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy150>.

27. Hawkins A. D., Popper A. N. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes

and invertebrates. *ICES Journal of Marine Science*. 2017;74(3):635-651. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw205>.

28. Kerimov V. Yu., Senin B. V., Bogoyavlenskii V. I., Shilov G. Ya. *Geology, prospecting and exploration of hydrocarbon deposits in the World ocean*. Moscow: Nedra; 2016. 410 p. (In Russ.).

29. Braathen A., Brekke, H. Chapter 1. Characterizing the seabed: a geoscience perspective. In: Banet C. (ed.). *The law of the seabed*. Leiden: Brill – Nijhoff; 2020. p.21–35.

30. Winther J.-G., Dai M., Rist T., Hoel A. H., Li Y., Trice A., et al. Integrated ocean management for a sustainable ocean economy. *Nature Ecology & Evolution*. 2020;4:1451-1458. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1259-6>.

31. Levin L. A., Amon D. J., Lily H. Challenges to the sustainability of deep-seabed mining. *Nature Sustainability*. 2020;3:784-794. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0558-x>.

32. Ranganathan S. Ocean floor grab: international law and the making of an extractive imaginary. *European Journal of International Law*. 2019;30(2):573-600. <https://doi.org/10.1093/ejil/chz027>.

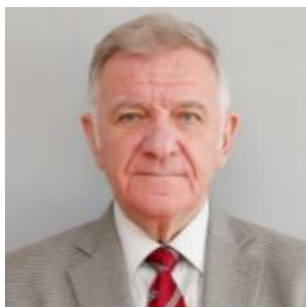
33. Queffelec B., Bonnin M., Ferreira B., Bertrand S., Da Silva S. T., Diouf F., et al. Marine spatial planning and the risk of ocean grabbing in the tropical Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*. 2021;78(4):1196-1208. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab006>.

34. Skaridov A. S. Chapter 5. The seabed in the High North – how to address conflicts? In: Banet C. (ed.). *The law of the seabed*. Leiden: Brill – Nijhoff; 2020. p.104–124.

35. Jenisch U. K. Old laws for new risks at sea: mineral resources, climate change, sea lanes, and cables. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2012;11:169-185. <https://doi.org/10.1007/s13437-012-0018-1>.

36. Werle D., Boudreau P. R., Brooks M. R., Butler M. J. A., Charles A., Coffen-Smout S., et al. Looking ahead: ocean governance challenges in the twenty-first century. In: *The future of ocean governance and capacity development*. Leiden: Brill – Nijhoff; 2019. p.533–542.

Информация об авторах / Information about the authors



Экзарьян Владимир Нишанович,

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
заслуженный эколог Российской Федерации,
заведующий кафедрой экологии и природопользования,
Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе,
г. Москва, Россия,
ekzaryanvn@mgi.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>.

Vladimir N. Ekzaryan,

Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Professor,
Honored Ecologist of the Russian Federation,
Head of the Department of Ecology and Nature Management,
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting,
Moscow, Russia,
ekzaryanvn@mgi.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>.



Ахмадиев Артур Константинович,
преподаватель кафедры экологии и природопользования,
Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе,
г. Москва, Россия,
akhmadievak@mgri.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-3388-4354>.

Arthur K. Akhmadiev,
Lecturer of the Department of Ecology and Nature Management,
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting,
Moscow, Russia,
akhmadievak@mgri.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-3388-4354>.

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 22.09.2021; одобрена после рецензирования 28.10.2021; принята к публикации 30.11.2021.

The article was submitted 22.09.2021; approved after reviewing 28.10.2021; accepted for publication 30.11.2021.