



# Safety in Deep Offshore Oil and Gas Production and Environmental Safety

Khromova, D.A.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

\* [khromova-d@mail.ru](mailto:khromova-d@mail.ru)

## Keywords:

Petroleum Industry; Marine Environment; Deep Water; Uncontrolled Conditions; Drilling Rigs; Offshore Drilling; Offshore Oil Production; Shallow Water

## Abstract:

The relevance of the topic of the article is due to the growing importance of deep offshore oil and gas production, ensuring the safety of personnel during field development, as well as the preservation of the environment. Currently sharply increased depth of water mark, at which the oil and gas. Features of installation and operation of the deep sea pipeline, underwater injection systems for wells located on the seabed prove that emergency cases are closely related to a deeper water level. Archival scientific sources and documents for the period from 2010 to 2019 were studied. A search and selection of relevant literature was carried out using effective selection criteria for sources. Peculiarities of installation and operation of the deep offshore pipeline have been identified, problems and safety of personnel in the conditions of deep offshore oil and gas production and environmental safety conditions have been identified.

## 1 Introduction

Россия входит в тройку лидеров по добыче углеводородов [1]. Добыча углеводородов – это крупнейший источник финансовых поступлений в бюджет страны [2]. При этом Россия имеет уникальные биологические ресурсы моря и входит в число мировых лидеров морского рыболовства наряду с Китаем, Японией, США [3], [4]. Эти биологические ресурсы необходимо сохранить для будущих поколений.

В начале 1980-х годов во многих странах мира начали расти темпы развития морской нефтегазовой промышленности, к 2005 г. глубинная морская добыча стала обеспечивать примерно 30% общей добычи углеводородов [5]–[7].

В настоящее время в глубоководных областях Мирового океана сложились главные центры глубоководных работ: у берегов Бразилии, вдоль западного побережья Африки, в Мексиканском заливе, Арктический кластер [8], [9].

Возрастающая значимость глубинной морской добычи нефти и газа, обеспечение безопасности персонала при разработке месторождений, а также сохранность окружающей среды – актуальная тема современности.

Цель статьи состоит в исследовании методов организации действий по обеспечению промышленной и экологической безопасности при глубинной морской добыче нефти и газа как самих промышленных объектов, так и прилегающих территорий.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Определить особенности монтажа и эксплуатации глубинного морского трубопровода;
2. Выявить проблемы и безопасность работы персонала в условиях глубинной морской добычи;
3. Использовать практические данные из материалов диагностики;
4. Рассмотреть природоохранные меры.

Khromova, D.A.

Safety in deep offshore oil and gas production and environmental safety;  
2020; *AlfaBuild*; Volume 15 Article No 1503. doi: 10.34910/ALF.15.3

## 2 Materials and Methods

Основными чертами и особенностями морской подводной добычи нефти и газа являются системы подводного закачивания скважин, которые располагаются не на платформе, а на морском дне. Их назначение – сбор и транспортировка продукции. Здесь же находятся подводные трубопроводы, системы энергоснабжения, телекоммуникаций и управления. Применение морских подводных методов и средств позволяет уменьшить трудности и риски, связанные с природными условиями при надводной добыче углеводородов – штормы, землетрясения, столкновения с айсбергами и т.д.[10].

К настоящему времени общая протяженность уложенных на морском дне трубопроводов в районах добычи углеводородов превышает 150 тыс. км. Только в Мексиканском заливе сеть морских трубопроводов разного назначения протянулась на 50 тыс. км и обеспечивает доставку на берег более половины добываемой в море нефти [11]–[13]. В Северном море этот показатель составляет 25 тыс. км, из них более 6 тыс. км приходится на трубопроводы большого диаметра (от 660 до 1000 мм), по которым с промысловых платформ на береговые терминалы перекачивается около 60 % добываемой нефти.

При подготовке статьи автор использовал практический опыт работы на предприятии ООО «Сплав-плюс», которое непосредственно занимается диагностикой и ремонтом оборудования химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих производств.

ООО «Сплав-плюс», является субподрядчиком Астраханского филиала ДОО «Центрэнергогаз» ОАО «Газпром» и осуществляет плановый ремонт средств электрохимзащиты оборудования, установку катодной защиты трубопроводов от коррозии, поиск повреждения изоляции подземных трубопроводов и др.

Работа заключалась в диагностике бурильной трубы по 4 категории программы DS-1 на подотчётном объекте [14]. Условия эксплуатации бурильной трубы схожи с эксплуатацией глубинного морского трубопровода, так как бурильные трубы испытывают большую нагрузку на глубине, где давление грунта очень высоко.

В ходе работы требовалось выявить компоненты, имеющие усталостные трещины или характеризующиеся повышенным риском их возникновения. Для этого был использован капиллярный метод неразрушающего контроля (цветная дефектоскопия), который широко применяется для определения целостности сварного шва. Тестирование проводилось в несколько этапов:

1. Очистка обследуемой поверхности;
2. Высушивание подготовленной поверхности для получения результатов более высокого качества;
3. Нанесение специальных составов индикаторов из аэрозольных баллончиков;
4. Нанесение проявителя;
5. Занесение результатов в журнал (отчетный документ).

## 3 Results and Discussion

При проведении диагностики основное внимание уделялось вопросам выявления коррозионного износа, потери прочности и герметичности бурильной трубы. На основании полученных в процессе диагностики данных рассчитывались дальнейшие сроки эксплуатации и разрабатывались рекомендации по устранению дефектов и проведению профилактики.

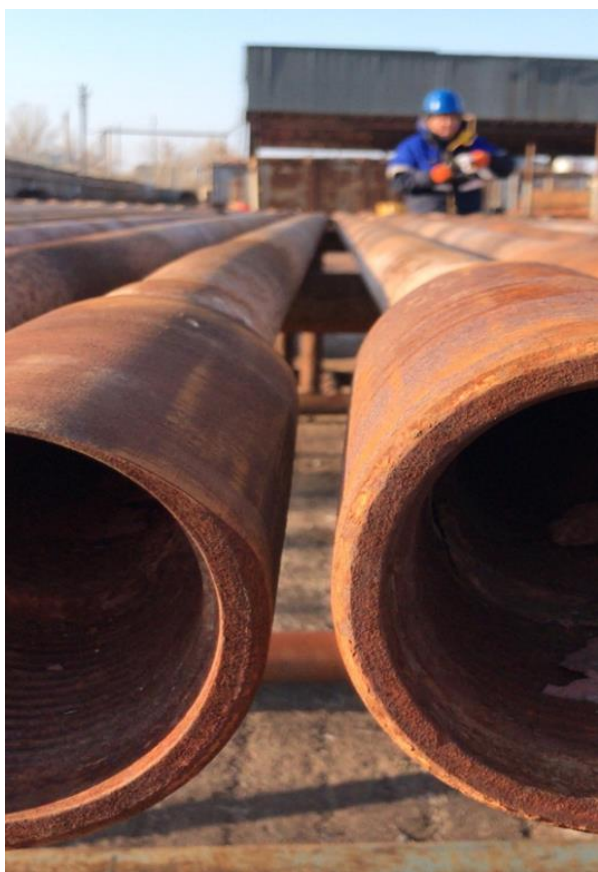
Освоение нефтегазовых месторождений при глубинной морской добыче характеризуется наличием большого количества факторов риска, как природного так и техногенного происхождения, которые усложняют и удорожают их освоение.

Можно выделить следующие виды факторов:

- Природные (суровый климат, глубокое промерзание пород и т.д.)[15];
- Инфраструктурные (отсутствие портов, системы связи и др.);
- Геологические (тектонические движения, магматизм, вещественный состав горных пород);
- Экологические (необратимые изменение природных комплексов, связанные с массовой гибелью живых организмов);
- Технологические (явления и процессы, а также отдельные люди и организации, способствующие разработке новых прогрессивных технологий)[16].



**Рис. 1 - Объект исследования – бурильные трубы СБТ 89, г. Астрахань**  
**Fig. 1 - The object of research - drill pipes SBT 89, Astrakhan**



**Рис. 2 - Фотофиксация результатов инспекции бурильных труб СБТ 89, г. Астрахань**  
**Fig. 2 - Photo fixation of the results of inspection of drill pipes SBT 89, Astrakhan**

Таблица 1. Акт по результатам инспекции бурильных труб (СБТ 89), г. Астрахань  
Table 1. Act on the results of the inspection of drill pipes (SBT 89), Astrakhan

ВИД ИЗДЕЛИЯ		Объект		Акт №DESI-001					
СБТ 89		ООО «Сплав-плюс»		по результатам инспекции бурильных труб (СБТ)					
№ п/п	№ зав.	СОСТОЯНИЕ ЗАМКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ						Оценка СБТ	Примечание
		Ниппель			Муфта				
		ВИК	Тип резьбы	Ø наруж., мм	ВИК	Тип резьбы	Ø наруж., мм		
1	б/н-001	MD	NC38	124,5	MD	NC38	125,1	Ремонт	Обнаружены утонение стенок замка, деформация тела трубы в месте захвата бурового оборудование, утонение стенки тела трубы до 8,7 мм
2	б/н-002	MD	NC38	125,4	MD	NC38	125,3	Ремонт	Обнаружены утонение стенок замка, деформация тела трубы в месте захвата бурового оборудование, утонение стенки тела трубы до 8,7 мм
3	б/н-003	MD	NC38	125,1	MD	NC38	125,2	Ремонт	Обнаружены утонение стенок замка, деформация тела трубы в месте захвата бурового оборудование, утонение стенки тела трубы до 8,7 мм
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СОСТОЯНИИ ПЕРЕВОДНИКОВ</b>									
<b>OK</b> -Дефектов не обнаружено,годен				0		Обнаружены утонение стенок замка муфты и ниппеля, деформация тела трубы в месте захвата бурового инструмента, утонение стенки тела трубы до 8,7 мм			
<b>S</b> - брак				0					
Ремонт				5					
<p><b>P</b> -Премииум класс, <b>AR P</b> - премиум после ремонта, <b>S</b> -Брак, <b>OK</b> -Дефектов не обнаружено, <b>TD</b> -повреждение резьбы, <b>TE</b> -Растяжение резьбы, <b>SD</b> -Повреждение заплечика, <b>RF</b> -Ремонт заплечика, <b>MD</b> -Механические повреждения, <b>M</b> -Вмятина, <b>C</b> -Трещина, <b>B</b> -Износ по телу, <b>UW</b> -неравномерный износ (эксцентричность), <b>W</b> -Вымоина (промыв), <b>BB</b> -Вздутие муфты, <b>CN</b> - отсутствие паспорта, (сертификата) покрытия.</p>									

Главную роль в транспортировке нефти и газа играет трубопровод. Этот вид транспортировки углеводородного сырья является основным и самым экономически выгодным. Магистральные нефтепроводы (МН) обеспечивают энергетическую безопасность страны и позволяют значительно ослабить нагрузку на остальные виды транспорта. Именно трубопровод одним из первых подвергается факторам риска – в результате нагрузок, коррозионного износа и механических повреждений прочность трубопроводов снижается. Для увеличения срока службы трубопровода проводят оценку остаточного ресурса. Эта оценка показывает количество лет для дальнейшей безопасной эксплуатации. Также для безопасной эксплуатации и предотвращения падения давления при авариях на расстоянии 10–30 км в подводных трубопроводах размещают задвижки, позволяющие перекрывать отдельные участки. Сами трубы делают из высокопластичных сталей, способных выдерживать температурные, механические и химические воздействия, они имеют антикоррозионное покрытие и бетонную защиту толщиной до 110 мм, в Khromova, D.A.

настоящее время используют трубопроводы из армированного пластика, они не подвержены коррозии, гибкие и прочные [17].

Таблица 2. Наиболее крупные разливы нефти в море  
Table 2. The largest oil spill in the sea

Год	Источники разлива	Место
2010	Платформа «Deepwater Horizon»	Мексиканский залив, США
2012	Месторождение «Elgin», аварийная утечка газа	Центральный грабен Североморского бассейна, Франция
2013	Выброс газа с конденсатом на самоподъемной буровой установке «Hercules 265»	Мексиканский залив, США
2013	При бурении из-за аномального пластового давления произошли мощный выброс газа и пожар	Месторождение Булла-Дениз, скважина № 90, Каспийское море, Азербайджан
2014	Ураган «Айзек»	Мексиканский залив, США
2014	Аварийное фонтанирование с возгоранием газа	Восточная часть Ямала, 500 м от акватории Обской губы, Южно-Тамбейское месторождение ООО «Ямал СПГ», Россия
2018	Столкновение панамского танкера «Sanchi» (перевозчик газового конденсата) с гонконгским сухогрузом	290 км к востоку от устья реки Янцзы в Восточно-Китайском море, территория Китая, Японии
2019	Источник разлива не установлен	Пляжи и природоохранные зоны северо-востока в Бразилии
2019	Ураган «Дориан» - разлив нефти на терминале Норвежской нефтегазовой компании «Equinor»	Багамские острова

Глубинная морская нефтегазовая добыча представляет большую важность, именно поэтому для обеспечения безопасности специалисты должны повышать квалификацию и совершенствовать свои навыки управления глубоководными проектами. Реализация эффективных проектов стимулирует формирование новых систем снабжения, логистических цепей. Это обеспечивает высокие темпы роста для создания новых технологий, разработки и эксплуатации новых глубоководных месторождений.

Системы подводного закачивания скважин при глубинной добыче нефти и газа находятся непосредственно в морской среде, поэтому неизбежно оказывают на неё прямое воздействие. Экологические проблемы обычно приходится решать уже на стадии выбора трассы для прокладки морских трубопроводов.

Укладка на морском дне 1 км трубопровода вызывает взмучивание в придонном слое воды около 5000 м<sup>3</sup> грунта и приводит к экологическим нарушениям на участке дна площадью от 500

Khromova, D.A.

Safety in deep offshore oil and gas production and environmental safety;

2020; AlfaBuild; Volume 15 Article No 1503. doi: 10.34910/ALF.15.3

до 3000 м<sup>2</sup>, а так как в некоторых регионах протяженность морских трубопроводов для добычи нефти и газа исчисляется десятками тысяч километров, то нарушается экологическое равновесие на территории миллионов квадратных метров [18].

Все этапы добычи, транспортировки и хранения углеводородов сопровождаются нефтяными разливами и газовыми выбросами, а нефть подо льдом оказывает ещё более губительное воздействие на морские экосистемы, чем аварийные разливы нефти на свободной поверхности воды [19]–[21].

Аварийные ситуации не повторяются, иногда их невозможно предотвратить, поскольку точное место, причину и время их возникновения нельзя предсказать заранее.

Особое внимание необходимо уделять завершению и ликвидации промыслов. Когда запасы углеводородов в пределах месторождения исчерпываются, возникают экологические, технические и финансовые проблемы. Стационарные объекты, отработавшие свой срок и ставшие ненужными после вывода месторождения из эксплуатации (морские платформы, подводные трубопроводы и нефтехранилища, оставленные на дне и под водой) подвергаются разрушению и разному в воде, они представляют собой опасность для морской навигации и рыболовства.

Поэтому для сохранности окружающей среды нужно провести такие природоохранные меры как:

- удаление со дна выведенных из эксплуатации трубопроводов или их захоронение на месте с предварительной промывкой;
- герметизацию отработанных скважин;
- восстановление первоначального состояния места работ с очисткой морского дна от твердых отходов и засорения [22].

Координатором усилий по предотвращению загрязнения морской среды, а в конечном итоге Мирового Океана, является Международная Морская Организация - ИМО (International Maritime Organization). Членство в этой организации добровольное. Вместе с тем, морские порты стран-участниц этой организации закрыты для судов, не выполняющих ее постановлений. Поскольку большинство портов, представляющих коммерческий интерес, принадлежат странам-участницам ИМО, влияние этой организации весьма значительно [23].

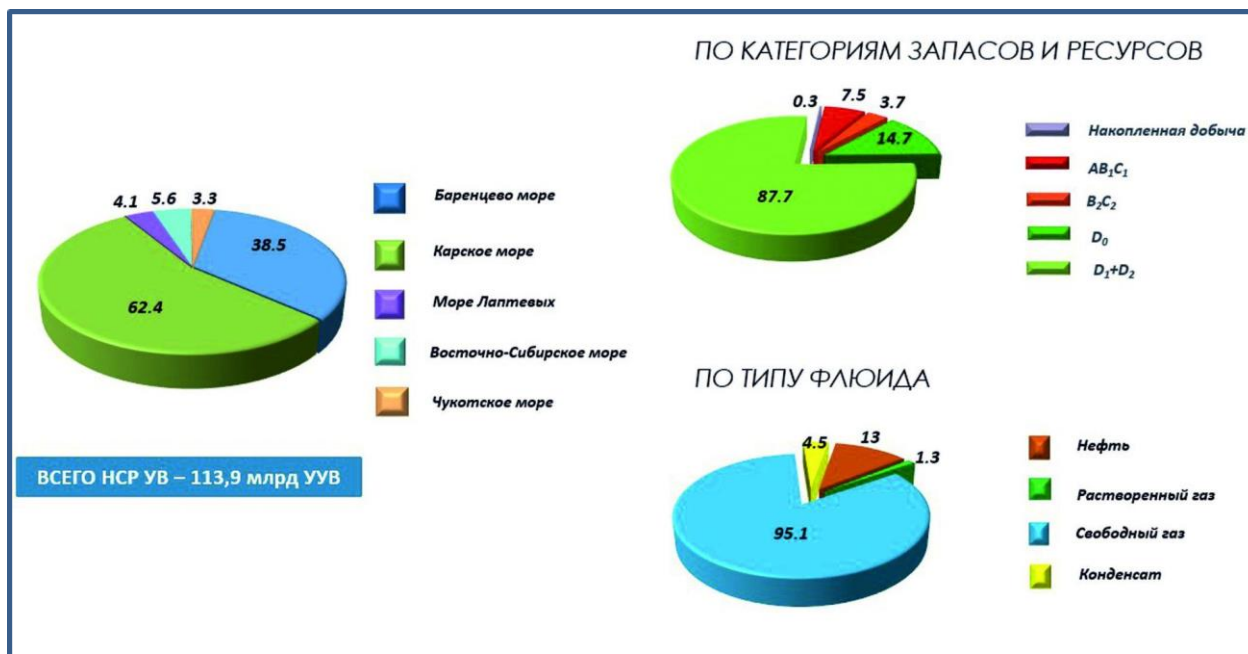


Рис. 3 - Структура начальных суммарных углеводородных ресурсов арктического шельфа РФ на 01.01.2018 г.

Fig. 3 - The structure of the initial total hydrocarbon resources of the Arctic shelf of the Russian Federation as of 01.01.2018

В России существуют крупные проекты добычи нефти и газа на шельфе северных и дальневосточных морей, а также на Каспии и Балтике. Они определяют энергообеспеченность

Khromova, D.A.

Safety in deep offshore oil and gas production and environmental safety;

2020; AlfaBuild; Volume 15 Article No 1503. doi: 10.34910/ALF.15.3

нашей страны и ближайших соседей в XXI веке. Наш собственный и мировой опыт показывает, что такого рода деятельность должна быть обеспечена надежной экологической безопасностью всех проектов, связанных с вторжением человека в морскую шельфовую зону. Решения безопасности могут быть найдены с помощью экологической науки.

## 4 Conclusions

При анализе трудов разных авторов (Патин С.А. – доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент Международной академии «Континент», Говорушко С. М. – главный научный сотрудник Тихоокеанского института географии, доктор географических наук, профессор) на тему глубинной морской нефтегазодобычи, просматриваются общие выводы относительно новой и динамичной отрасли современной экономики и энергетики – наш собственный и мировой опыт показывает, что такого рода деятельность допустима лишь при условии надежного обеспечения экологической безопасности всех проектов, связанных с вторжением человека в морскую шельфовую зону [24]. Нужны новые методические подходы и критерии, которые будут учитывать природную изменчивость экосистемных параметров, стадии развития стрессовых эффектов, характер и масштаб воздействия. Практическое значение статьи состоит в исследовании методов обеспечения безопасности при освоении глубинной морской нефтегазодобычи при максимальной сохранности окружающей среды.

Надеюсь, что данная статья привлечет внимание специалистов разного профиля и поможет решению вопросов безопасности глубинной морской нефтегазодобычи и экологической безопасности при освоении природных богатств.

## 5 Acknowledgements

This research work was supported by the Academic Excellence Project 5-100 proposed by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation.

## References

1. V troyke liderov. Sibirskaya neft. 2017. URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-february/1441837/> (date of application: 10.02.2021).
2. Marichev, A.V., Melnik, A.V. Sozdaniye normativnoy bazy dlya obespecheniya rabot po osvoyeniyu morskikh neftegazovykh mestorozhdeniy. 13-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya po osvoyeniyu resursov nefti i gaza Rossiyskoy Arktiki i kontinentalnogo shelfa stran SNG. 2016.
3. Fartushnyi, R.N., Zinchenko, A.V., Barichko, B.V., Krainov, V.I., Kropachev, V.S. Determination of the resistance of drill-pipe steels to deformation. Metallurgist. 2008. 52(7–8). Pp. 410–414. DOI:10.1007/s11015-008-9078-z.
4. Wei, E.A., Holmes, J.J., Driscoll, N.W. Strike-Slip Transpressional Uplift Offshore San Onofre, California Inhibits Sediment Delivery to the Deep Sea. Frontiers in Earth Science. 2020. 8. DOI:10.3389/feart.2020.00051.
5. Li, P., Zhang, Y., Zhou, D., Liang, X. Geological characterization and numerical modelling of CO<sub>2</sub> storage in an aquifer structure offshore Guangdong Province, China. Energy Procedia. 2018. 154. Pp. 48–53. DOI:10.1016/j.egypro.2018.11.009.
6. Han, Z.Y., Weng, W.G. An integrated quantitative risk analysis method for natural gas pipeline network. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2010. 23(3). Pp. 428–436. DOI:10.1016/j.jlp.2010.02.003.
7. Sømme, T.O., Skogseid, J., Embry, P., Løseth, H. Manifestation of Tectonic and Climatic Perturbations in Deep-Time Stratigraphy – An Example From the Paleocene Succession Offshore Western Norway. Frontiers in Earth Science. 2019. 7. DOI:10.3389/feart.2019.00303.
8. Zhang, J., Fowai, I., Sun, K. A glance at offshore wind turbine foundation structures. Brodogradnja. 2016. 67(2). Pp. 101–113. DOI:10.21278/brod67207.
9. Liu, W., Zhao, Y. Selection of subsea surface horizontal displacement monitors in offshore deep-water channel project. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 300(2). DOI:10.1088/1755-1315/300/2/022022.

10. Patin S.A.. Neft i ekologiya kontinentalnogo shelfa. Vtoroye izdaniye, pererabotannoye i dopolnennoye, v dvukh tomakh. Tom 1, Morskoy neftegazovyy kompleks: sostoyaniye, perspektivy, factory vozdeystviya. VNIRO Moskva, 2017.

11. Yeh, Y.H., Shih, R.C., Lin, C.H., Liu, C.C., Yen, H.Y., Huang, B.S., Liu, C.S., Chen, P.Z., Huang, C.S., Wu, C.J., Wu, C.J., Wu, F.T. Onshore/Offshore Wide-Angle Deep Seismic Profiling in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. 1998. 9(3). Pp. 301–316. DOI:10.3319/TAO.1998.9.3.301(TAICRUST).

12. Jellison, M., Foster, B., Elliott, G., Sanclemente, L., Muradov, A., Hehn, L. Ultra-high-strength drill pipe expands the drilling envelope: A new lightweight steel alloy will allow wells to be drilled farther and deeper. *World Oil*. 2009. 230(7). Pp. 31–38.

13. Young, D.G., Ng, C., Oterkus, S., Li, Q., Johanning, L. Assessing the mechanical stresses of dynamic cables for floating offshore wind applications. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. 1102(1). DOI:10.1088/1742-6596/1102/1/012016.

14. DRILL STEM INSPECTION, Standard DS-1 Fourth Edition (Standard DS-1(volume 1- 4)): T. H. Hill Associates, Inc., Houston: Amazon.com: Books. URL: <https://www.amazon.com/DRILL-STEM-INSPECTION-Standard-Fourth/dp/B000IAX5PY> (date of application: 10.02.2021).

15. Kuznetsova A.I. Posledstviya glubinnoy neftedobychi v moryakh i okeanakh. *Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S. Yu. Vitte. Seriya 1: Ekonomika i upravleniye*. 2014. 11(5). Pp. 39-44. URL: [https://www.muiv.ru/vestnik/pdf/eu/eu\\_2014\\_5\\_39-44.pdf](https://www.muiv.ru/vestnik/pdf/eu/eu_2014_5_39-44.pdf) (date of application: 10.02.2021).

16. Udalova T. Transportirovka nefti: nefteprovody, tankery i drugiye puti. *Neft. Prosto o slozhnom*. 2016. URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2016-december-projects/1115541/> (date of application: 10.02.2021).

17. Arany, L., Bhattacharya, S., Macdonald, J.H.G., Hogan, S.J. Closed form solution of Eigen frequency of monopile supported offshore wind turbines in deeper waters incorporating stiffness of substructure and SSI. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2016. 83. Pp. 18–32. DOI:10.1016/j.soildyn.2015.12.011.

18. Ziomek-Moroz, M. Environmentally assisted cracking of drill pipes in deep drilling oil and natural gas wells. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2012. 21(6). Pp. 1061–1069. DOI:10.1007/s11665-011-9956-6.

19. Bolshev, A.S., Vasil'ev, Y.S., Alhimenko, A.I. Environment protection in the development of carbon-nitrogen resources of arctic seas. *Materials Science. Power Engineering*. 2017. 101(3). Pp. 7–15. DOI:10.18721/JEST.230301. URL: <https://engtech.spbstu.ru/article/2017.101.1> (date of application: 11.02.2021).

20. Ismoilova, S., Loginov, P., Khamidov, S., Akbarov, N., Kumakov, J.X. Dynamic stress state of underground pipelines at junctions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 869(5). Pp. 052013. DOI:10.1088/1757-899X/869/5/052013.

21. Melnikov P.N. GRR V ARKTIKE: resursnyy potentsial i perspektivnyye napravleniya. *Delovoy zhurnal Neftegaz.ru*. 2020. URL: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/geologorazvedka/524097-grr-v-arktike-resursnyy-potentsial-i-perspektivnye-napravleniya/> (date of application: 10.02.2021).

22. Vozdvizhenskaya A. Ley do dna. Morskaia neftedobycha v Rossii vyrastet na 30% cherez piat let — Rossiiskaia gazeta. 06-03-2017. URL: <https://rg.ru/2017/03/06/morskaia-neftedobycha-v-rossii-vyrastet-na-30-cherez-piat-let.html> (date of application: 10.02.2021).

23. Alkhimenko, A.I. Avariynnye razlivy nefti v more i borba s nimi. St. Petersburg, OM-Press, 2004. 113 p. URL: [https://www.studmed.ru/alhimenko-ai-avariynnye-razlivy-nefti-v-more-i-borba-s-nimi\\_d05acd0eb41.html](https://www.studmed.ru/alhimenko-ai-avariynnye-razlivy-nefti-v-more-i-borba-s-nimi_d05acd0eb41.html) (date of application: 10.02.2021).

24. Govorushko, S.M. Ekologicheskiye posledstviya dobychi, transportirovki i ispolzovaniya iskopayemogo topliva. Vladivostok, Dalnauka, 2014. 208 p. ISBN:978-5-8044-1463-5. URL: <https://istina.msu.ru/publications/book/16598647/> (date of application: 10.02.2021).