

## Влияние климатических изменений на реализацию строительных проектов транспортной инфраструктуры в Арктике

Т.В. Долгушев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

**Аннотация:** В Арктической зоне РФ (АЗРФ) в настоящее время наблюдаются значительные климатические изменения, интенсивность которых в 2.5 раза превышает среднепланетарный уровень. Активное освоение рассматриваемого региона связано со строительством и реконструкцией портовых гидротехнических сооружений, расширением инфраструктуры портов и строительством терминалов для сжиженного природного газа. В действующей нормативной документации для строительства не предусмотрен учёт изменения волновых, ледовых и гидростатической нагрузок на портовые гидротехнические сооружения в период их эксплуатации. Статья посвящена вопросу необходимости учёта климатических изменений при проектировании портовых гидротехнических сооружений в АЗРФ. Учёт климатических изменений позволит снизить затраты на капитальный ремонт в период жизненного цикла сооружений и снизить риски аварий, вызванных работой конструкций в условиях запроектных нагрузок.

**Ключевые слова:** климатические изменения, строительный проект, порт, гидротехническое сооружение, западная Арктика

В настоящее время в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) для развития регионов предусмотрено активное освоение ресурсного потенциала Арктической шельфовой зоны (Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 и Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204). Шельф РФ, представляющий собой материковую окраину, скрытую под водой, простирается более чем на 300 км вглубь Северного ледовитого океана (СЛО). В практике геологоразведочных работ принята классификация разведанности залежей природных ископаемых по степени достоверности данных (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 1 ноября 2013 г. № 477):

- Разведанные
  - А – запасы, изученные и разведанные с наибольшей детальностью и точными границами залегания, разбуренные эксплуатационными

скважинами и разрабатываемые в соответствии с технологическим проектом разработки;

- $V_1$  – запасы, разведанные и изученные с точностью, обеспечивающей выявление основных условий залегания, не разбуренные эксплуатационными скважинами, но по данным оценочных скважин, давших промышленные потоки нефти или газа;
- $C_1$  – запасы, не введенные в промышленную разработку, на которых может осуществляться пробная эксплуатация;
- Оценённые
  - $V_2$  – запасы, разведанные и изученные с точностью, обеспечивающей выявление основных условий залегания, не разбуренные эксплуатационными скважинами;
  - $C_2$  – запасы, разведанные, изученные и предварительно оценённые по единичным пробам и образцам.

Для шельфовых территорий АЗРФ структуры запасов углеводородов шельфовых областей, по данным [1], выглядят следующим образом:

- Сжиженный природный газ
  - $A+V_1+C_1 - 9343,3$  млрд,  $m^3$ ;
  - $V_2+C_2 - 3659,2$  млрд,  $m^3$ ;
- Нефть
  - $A+V_1+C_1 - 2244,0$  млн. т;
  - $V_2+C_2 - 3078,7$  млн. т.

Иными словами, в Арктическом регионе содержится значительное количество полезных ископаемых [2], включая запасы, располагающиеся в пределах материковой части Арктики [3], такие, как: медно-никелевые руды, олово, платиноиды, агрохимические руды, редкие металлы и редкоземельные элементы, крупные запасы золота, алмазов, вольфрама, ртути, чёрных металлов, оптического сырья и поделочных камней.

---

В условиях истощения большого количества месторождений углеводородов на континентальной части РФ, увеличивается сложность добычи углеводородов, а равно растёт себестоимость конечной продукции. В связи с этим, реализация проектов в АЗРФ выглядит достаточно перспективно [4], однако сложные природно-климатические условия данного региона значительно осложняют добычу углеводородов в шельфовой зоне РФ [5].

Климатические изменения в АЗРФ, интенсивность которых превосходит среднепланетарный уровень в 2.5 раза, также отражаются на условиях добычи углеводородов [6]. В настоящее время доступны данные, полученные по результатам более чем 25 лет спутниковых наблюдений за состоянием ледяного покрытия Арктического региона. Наблюдаемое активное сокращение площади льда приводит к освобождению от льда значительной поверхности вод СЛО не только в летний и межсезонный периоды, но и в зимний период (в меньших масштабах), рис.1 и 2.

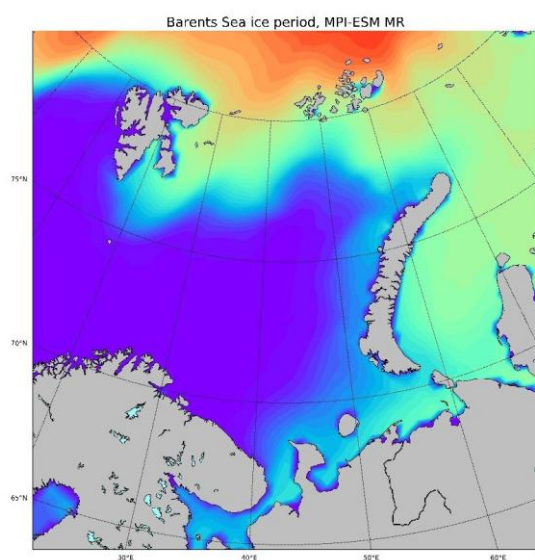


Рис. 1. Изополе продолжительности покрытия льдом Баренцева моря по сценарию RCP8.5 на 2039 год [7].

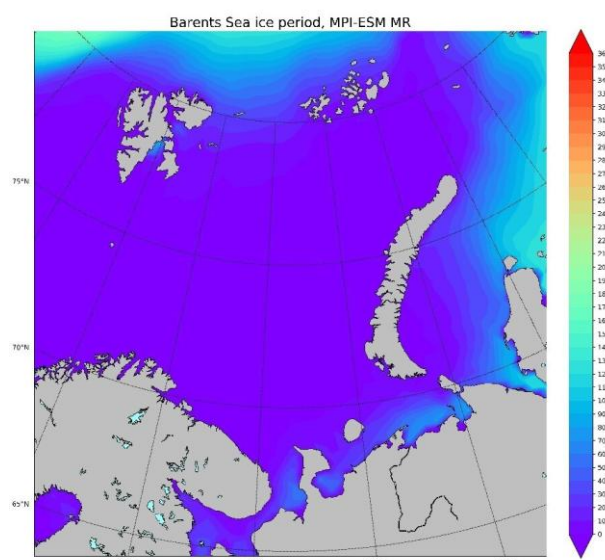


Рис. 2. Изополе продолжительности покрытия льдом Баренцева моря по сценарию RCP8.5 на 2099 год [7].

Сокращение площади льда, приводит к увеличению периода навигации в данном регионе и сокращению ледовых нагрузок [8], что упрощает процесс добычи полезных ископаемых и снижает себестоимость конечного сырья, повышая рентабельность проектов [9], что является положительным влиянием изменений климата. Большинство разработанных ранее проектов добычи полезных ископаемых на континентальном шельфе не реализовано в силу доступности и простоты добычи на суше. Климатические изменения приводят к появлению факторов, как снижающих капитальные и эксплуатационные затраты, так и увеличивающих их.

Стоит отметить, что строительные проекты по добыче полезных ископаемых в АЗРФ обоснованы показателями доходности инвестиций и сроками окупаемости с учётом не только текущих возможностей транспортной инфраструктуры, но и данных о логистических проектах, планируемых к введению в эксплуатацию в ближайшие десятилетия [10]. Таким образом, учёт положительного влияния изменений климата, на примере увеличения периода навигации, позволяет повысить инвестиционную привлекательность строительных проектов в АЗРФ.

Помимо положительного влияния изменений климата на проекты в АЗРФ, существуют и негативные факторы. Достаточно упомянуть лишь несколько из них:

- В настоящее время для большинства портов Арктического региона преобладающей нагрузкой является ледовая. Сокращение площади льдов приводит к изменению условия формирования волн, в частности увеличение длины разгона волн может изменить соотношение волновой и ледовой нагрузок на сооружение, в пользу доминирования волновой нагрузки.
  - Рост глобального среднего уровня моря имеет значительные региональные особенности, но для Баренцева моря при агрессивных
-

сценариях моделирования климата (SSP5-8.5), которые в настоящее время многие специалисты характеризуют, как реалистичные, увеличение уровня моря может составить не менее 60 см в ближайшие 75 лет. В свою очередь это вызовет рост гидростатической и волновой нагрузок, увеличение высоты заплеска и в целом негативно отразится на условиях эксплуатации причальных и оградительных сооружений портов.

Отсутствие учёта негативного влияния климатических изменений приведёт к превышению проектных нагрузок и, соответственно, значительно увеличит риски аварийных ситуаций в условиях запроектной работы конструкций [11].

Реализация проектов добычи углеводородов связана со значительными капитальными и эксплуатационными затратами. Инвестиционно-строительные проекты в данной отрасли подразумевают не только привлечение средств в строительство или реконструкцию сооружений, но и эксплуатацию объекта с целью получения прибыли. В рамках данного подхода на всей продолжительности жизненного цикла проекта, который может составлять от 25 до 100 лет, эксплуатационные затраты имеют значительные объёмы.

При реализации проектов с учётом влияния только положительных факторов, повышаются основные финансовые показатели проекта, а в условиях сокращения ледовой нагрузки и улучшаются условия эксплуатации на коротком временном промежутке (рис.3). Однако при долгосрочной эксплуатации проблема увеличения волновой нагрузки, рост повторяемости штормовых явлений, изменение господствующего направления ветра и уровня моря приведёт к необходимости пересмотра конфигурации в плане оградительных сооружений, повышению высотных отметок сооружений, связанных с ростом уровня отметки акватории [12, 13].

---



Описанные выше мероприятия связаны со значительными объёмами строительных работ, подразумевающих в отдельных случаях не просто необходимость разработки проекта реконструкции с усилением причальных стенок или молов, но и повторное возведение ряда конструкций в условиях изменившихся нагрузок и уровнях отметок. Так, например, в районе Чёшской губы в соответствии с результатами модельного расчёта по сценарию SSP5-8.5 можно говорить о росте уровня моря относительно начала XXI века на величину порядка 112 см.

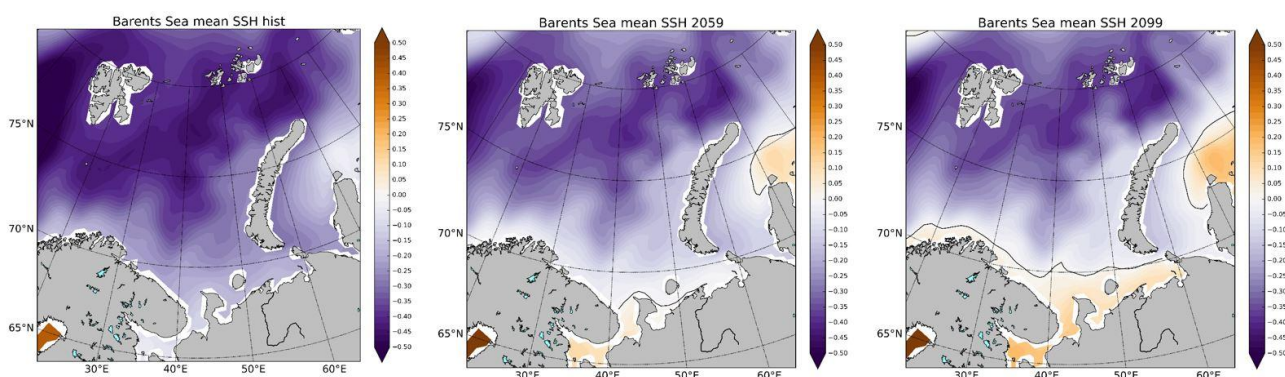


Рис. 3. Изополя, показывающие уровень моря в районе Баренцева моря. Слева – исторический период с 1979 по 2005 года; по центру и справа – прогнозные значения на 2059 и 2099 год соответственно, по сценарию RCP8.5 [7].

Реализация инвестиционно-строительных проектов в АЗРФ связана с большим объёмом капитальных вложений и повышенной технической сложностью реализуемых проектов [14]. Рассмотрение доходности и рисков проекта требует учёта климатических изменений. Сложившаяся практика учёта положительных проявлений изменений климата приводит к росту показателей доходности проекта при неизменном объёме капитальных вложений.

Данная практика некорректна и для учёта климатических изменений требуется комплексный подход, учитывающий также и негативные факторы. При учёте последствий изменения климата, влияющих на проектные

нагрузки, увеличиваются риски проекта, для реагирования на которые, при любой выбранной стратегии, придётся увеличивать объём капитальных затрат или эксплуатационные издержки.

Игнорирование факторов, влияющих на режим эксплуатации сооружений, в краткосрочной перспективе позволит сэкономить средства в результате сокращения капитальных затрат, но при рассмотрении всего жизненного цикла сооружения, это значительно увеличит риски аварий и приведёт к необходимости реконструкции возведённых сооружений с учётом изменившихся природно-климатических условий. В связи с этим, проблема реагирования на «климатические» риски актуальна для проектировщиков и научного сообщества и требует дальнейшего изучения с целью разработки и внесения изменений в действующие нормы проектирования.

### Литература

1. Астафьев Д. А., Давыдова Е. С., Пятницкая Г. Р., Скоробогатов В. А. Газонефтяная геостатистика недр шельфовых бассейнов Северной Евразии в связи с освоением запасов и ресурсов углеводородов до 2050 г // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2018. – № 3(35). – С. 72-80.
2. Толстикова А. В., Астафьев Д. А., Штейн Я. И., Кабалин М. Ю., Наумова Л. А. Запасы и ресурсы углеводородов, перспективы изучения и промышленного освоения недр морей России в XXI в // Геология нефти и газа. – 2018. – № 4s. – С. 73-85.
3. Сутягин В. В., Володина Н. Н. Арктика, некоторые проблемы интенсивного освоения // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2015. – Т. 6. – № 4-1(24). – С. 118-124.
4. Никитин, Б. А., Дзюбло А. Д. Перспективы освоения газовых ресурсов шельфа арктических морей России // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2017. – № 4(32). – С. 15-24.

5. Александрова, М. А. Северный морской путь: основные проблемы и перспективы развития // Инфраструктурные отрасли экономики: проблемы и перспективы развития. – 2014. – № 5. – С. 46-49.

6. Воронцова, С. Д. Влияние климатических изменений на транспортную инфраструктуру в Арктической зоне и на территориях распространения вечной мерзлоты // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 4(71). – С. 33-39.

7. Веземская П.С., Гулев С.К., Селиванова Ю.В., Тилинина Н.Д., Маркина М.Ю., Криницкий М.А., Шармар В.Д. Прогноз и анализ изменений климата в Российской части Баренцева моря. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2019. – 611 с.

8. Николаева, А. Б. Возможное влияние изменения климата на функционирование Северного морского пути // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2018. – № 2(58). – С. 25-35.

9. Долгушев Т. В., Меньшикова А. В., Перспективы реализации строительных проектов морских сооружений в Арктической зоне РФ // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции, Белгород, 30 апреля – 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 1107-1110.

10. Вопиловский С. С. Инфраструктурные проекты - генеральный ресурс повышения экономического потенциала Арктики // Арктика и Север. – 2021. – № 43. – С. 19-31.

11. Пыткин А. Н., Баландин А. Н., Основные инвестиционные риски недропользования в арктическом регионе // Российское предпринимательство. – 2013. – № 6(228). – С. 39-47

12. Jeon T., Seo KW., Youm K., Chen J. and Wilson C. Sci Rep 8, 13519 (2018). DOI: 10.1038/s41598-018-31972-8.

---



13. Fu Y., Feng Y., Zhou D. and Zhou X. *Acta Oceanol. Sin.* 40, 76–83 (2021).  
DOI: 10.1007/s13131-021-1820-4.

14. Степуть И. С. Особенности использования ресурсов инвестиционной деятельности в регионах Арктической зоны России // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2018. – № 10(96). – С. 114-121.

### References

1. Astaf'ev D.A., Davydova E.S., Pyatnitskaya G.R., Skorobogatov B.A., 2018. *Nauchno-texnicheskij sbornik Vesti gazovoj nauki*, 3(35): pp. 72-80.

2. Tolstikov A.V., Astaf'ev D.A., Shtein Ya.I., Kabalin M.Yu, Naumova L.S., 2018. *Geologiya nefti i gaza*, 4(s): pp. 73-85.

3. Sutyagin V.V., Volodina N.N., 2015. *MIR (Modernizaciya. Innovacii. Razvitie)*, six(4(24)): pp. 118-124.

4. Nikitin B.A., Dzyublo A.D., 2017. *Nauchno-texnicheskij sbornik Vesti gazovoj nauki*, 4(32): pp. 15-24.

5. Aleksandrova M.A., 2014. *Infrastrukturny`e otrasli e`konomiki: problemy` i perspektivy` razvitiya*, 5: pp. 46-49.

6. Vorontsova S.D., 2017. *Transport Rossijskoj Federacii*, 4(71): pp. 33-39.

7. Verezemskaya P.S., Gulev S.K., Selivanova Yu.V., Tilinina N.D., Markina M.Yu., Krinitskiy M.A., Sharmar V.D, 2019. *Prognoz i analiz izmenenij klimata v Rossijskoj chasti Barenceva morya. [Forecast and analysis of climate change in the Russian part of the Barents Sea].* M.: Vsemirnyj fond dikoj prirody (WWF), 2019. 611 p.

8. Nikolayeva A.B., 2018. *Sever i ry`nok: formirovanie e`konomicheskogo porjadka*, 2(58): pp. 25-35.

9. Dolgushev T.V., Men'shikova A.V., 2021. *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya molodyh uchenyh BGTU im. V.G. SHuhova: Materialy konferencii, Belgorod, 30 aprelya 2021 goda.* Belgorod: Belgorodskij



gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet im. V.G. SHuhova, 2021. pp. 1107-1110.

10. Vopilovskiy S.S., 2021. Arktika i Sever, 43: pp.19-31.

11. Pytkin A.N., Balandin D.A., 2013. Rossijskoe predprinimatel'stvo, 6(228): pp. 39-47.

12. Jeon T., Seo KW., Youm K., Chen J. and Wilson C. Sci Rep 8, 13519 (2018). DOI: 10.1038/s41598-018-31972-8.

13. Fu Y., Feng Y., Zhou D. and Zhou X. Acta Oceanol. Sin. 40, 76–83 (2021). DOI: 10.1007/s13131-021-1820-4.

14. Stepus' I.S., 2018. Regional'ny'e problemy` preobrazovaniya e`konomiki, 10(96): pp. 114-121.