

**Экономические последствия деградации многолетнемерзлых пород Ямала:  
моделирование климатических рисков и адаптационные стратегии**

**Научный руководитель – Маслаков Алексей Алексеевич**

***Илюшин Иван Константинович***

*Студент (магистр)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Географический факультет, Кафедра криолитологии и гляциологии, Москва, Россия

*E-mail: iightning1506@gmail.com*

Изменения климата в будущем окажут значительное влияние на территории с многолетнемерзлыми породами, особенно в условиях высокоширотной арктической тундры. В результате повышения среднегодовых температур воздуха происходит деградация мерзлоты, которая приводит к изменению ландшафтов, активизации негативных экзогенных процессов и росту рисков для нефтегазоносной инфраструктуры. Эти процессы имеют серьёзный экономический эффект, увеличивая затраты на ремонт, эксплуатацию и адаптацию объектов к изменяющимся условиям. В данной работе с применением математического моделирования анализируются прогнозируемые изменения глубины сезонно-талого слоя (СТС) в зависимости от климатических сценариев и оцениваются потенциальные экономические последствия для полуострова Ямал.

Исследование основано на численном моделировании процессов теплообмена в многолетнемерзлых грунтах с использованием программного комплекса Frost 3D. В рамках работы оценены изменения мощности СТС по двум сценариям климатического потепления – минимального (SSP2-4.5) и максимального (SSP5-8.5), на две контрольные даты – 2050 и 2100 годы [1]. Анализируются риски для объектов инфраструктуры, а также возможные адаптационные стратегии, включая применение новых технологий строительства и компенсационные механизмы, а также использование теплоизолированных свай, охлаждающих систем и новых материалов, устойчивых к изменениям ландшафтов вследствие активизации различных рельефообразующих процессов.

По прогнозному сценарию SSP2-4.5 глубина СТС к 2050 году увеличивается с 0,5 до 1 м, а к 2100 году — до 1,6 м, при этом отрицательные среднегодовые температуры почвы сохранятся на глубинах ниже 2 м. В сценарии SSP5-8.5 более экстремальные условия потепления приводят к оттаиванию до глубины 1,5 м к 2050 году и до 5,0–5,5 м к 2100 году.

К 2050 году до 70% инфраструктуры в зоне многолетней мерзлоты окажется под угрозой деформаций [4]. Прогнозируемые расходы на адаптацию и ремонт могут достигать миллиардов рублей. Наибольшие экономические потери от климатического потепления ожидаются в регионах с развитой промышленной, транспортной и энергетической инфраструктурой (Республика Коми, Ненецкий, Ямало-Ненецкий и Чукотский АО, а также Красноярский край). В то же время арктические регионы, специализирующиеся на транспортной логистике, такие как Мурманская и Архангельская области, Республика Карелия, могут получить выгоды за счёт улучшения условий судоходства и увеличения транзитных потоков. В связи с этим дальнейшие исследования требуют разработки методики количественной оценки разнонаправленных экономических эффектов климатических изменений в разрезе регионов и отраслей их специализации [2].

В России расходы на замену и поддержание инфраструктуры в условиях изменения климата составили 18% от ВВП 2016 года [7]. Однако в северных регионах эта нагрузка распределяется неравномерно: в более экономически развитых субъектах, таких как

Ямало-Ненецкий АО, Республика Коми и Красноярский край, затраты на адаптацию составляют меньшую долю регионального бюджета. В то же время в менее развитых регионах (Республика Саха, Забайкальский край, Магаданская область), где климатическое воздействие столь же велико, нагрузка на региональный бюджет оказывается значительно выше. При одинаковых затратах на климатическую адаптацию их доля в бюджете менее обеспеченных регионов оказывается критически высокой, что создаёт дополнительные экономические риски. Согласно прогнозам, для покрытия среднегодового роста затрат на климатическую адаптацию в Ямало-Ненецком АО, Республике Коми и Красноярском крае потребуется около 0,3% ВРП, в то время как в менее экономически устойчивых регионах этот показатель значительно выше [6].

По оценкам Д.А. Стрелецкого, в России затраты, связанные с воздействием таяния вечной мерзлоты, составят более 100 млрд долларов [5]. С одной стороны, глобальное потепление климата имеет положительный эффект для некоторых аспектов, но возрастают и риски: в разы увеличится износ инфраструктуры и объем работ, необходимых на её поддержание [3].

Результаты моделирования подтверждают, что климатические изменения окажут значительное экономическое воздействие на природопользование в Арктике. Деградация многолетнемерзлых грунтов создаёт долгосрочные риски для инфраструктуры, требующие разработки стратегий адаптации.

#### Источники и литература

- 1) Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. – 124 с.
- 2) Бадина Т. В., Панкратов Ф. Н. Влияние изменения климата на социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. – 2021. – № 4 (44). – С. 56–70. – DOI: 10.25283/2223-4594-2021-4-56-70.
- 3) Ключникова Е. М., Исаева Л. Г., Маслобоев В. А., Алиева Т. Е., Иванова Л. В., Харитонов Г. Н. Сценарии развития ключевых отраслей экономики Мурманской области в контексте глобальных изменений в Арктике // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 1 (25). – С. 19-31.
- 4) Hjort J., Karjalainen O., Aalto J. et al. Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century // Nature Communications. – 2018. – Vol. 9, 5147. – DOI: 10.1038/s41467-018-07557-4.
- 5) Streletskiy D. A., Suter L. J., Shiklomanov N. I., Porfiriev B. N., Eliseev D. O. Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost // Environmental Research Letters. – 2019. – Vol. 14(2). – Article 025003. – URL.
- 6) Suter L., Streletskiy D., Shiklomanov N. Assessment of the cost of climate change impacts on critical infrastructure in the circumpolar Arctic // Polar Geography. – 2019. – Vol. 42(4). – P. 267–286. – DOI: 10.1080/1088937X.2019.1686082.
- 7) Global Economy. Russia: Government spending, percent of GDP. – The Global Economy, 2018. – URL.