

*Майоров Данил Александрович, магистрант,  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный  
университет, г. Санкт-Петербург*

## **ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЕ ПОРОДЫ**

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются масштабы распространения и тенденции глобального потепления. Производится обзор его долгосрочных воздействий на многолетнемерзлые породы. В статье изучаются последствия глобального потепления для инфраструктуры. Проводится анализ действий, необходимых для адаптации процесса таяния вечной мерзлоты.

**Ключевые слова:** многолетнемерзлая порода, мерзлота, глобальное потепление, таяние, снижение несущей способности, инфраструктура, последствия, криолитозона.

**Abstract:** This article examines the extent and trends of global warming. Its long-term impacts on permafrost are being reviewed. The article examines the effects of global warming on infrastructure. An analysis of the actions necessary to adapt the process of permafrost thawing is carried out.

**Keywords:** permafrost, permafrost, global warming, melting, decrease in bearing capacity, infrastructure, consequences, permafrost.

### **Введение**

Вечная мерзлота представляет собой слой почвы (почва, горная порода) с включениями льда или органического материала, который остается замороженным при температуре 0°C или ниже в течение не менее двух лет подряд. Этот тип мерзлоты находится под открытыми сухопутными площадями

в северном полушарии, преимущественно в арктической части суши, а также простирается под Северным Ледовитым океаном. Вечная мерзлота занимает значительную часть земного шара и составляет 22% площади суши Северного полушария [3]. По данным климатического центра Росгидромета, практически две трети территории Российской Федерации занимают многолетнемерзлые породы, где расположено множество населенных пунктов.



Рис.1 Карта распространения Вечной мерзлоты на территории Российской Федерации

Международные исследования подтверждают непрерывное глобальное потепление, проявляющееся в повышении средней температуры на планете. Хотя причины этого явления разнообразны, сам факт повышения температуры не вызывает сомнений. Кроме поиска путей для замедления этого процесса, также требуется адаптация к изменяющимся условиям жизни и хозяйственной деятельности. Мы сталкиваемся с проблемой того, что ранее построенные здания и сооружения не были спроектированы с учетом долгосрочных климатических изменений, научные исследования которых начали проводиться сравнительно недавно (начало 1990-х годов). В России в целом наблюдается продолжающееся потепление климата, без заметной тенденции замедления по данным наблюдений. Одной из основных природных систем, подверженных изменениям

климата в России, является зона распространения вечной мерзлоты. Повышение среднегодовых температур воздуха над поверхностью земли, а также изменения в снеговом режиме, влияют на температуру многолетнемерзлых пород, приводя к расширению зоны сезонного оттаивания и деградации мерзлоты. Эти изменения границы вечной мерзлоты имеют значительное значение в геотехнике, поскольку они влияют на механические свойства грунтов и активизацию опасных криогенных процессов [1].

Нельзя не упомянуть то, что за последние 20-30 лет температура вечной мерзлоты повысилась на 2°C. Согласно исследованиям, глубина почвы, которая оттаивает сезонно, увеличилась в Скандинавии, арктической части России к западу от Урала и на материковой части Аляски. Кроме того, южная граница вечной мерзлоты сместилась на север на 30-80 км в России с 1970 по 2005 год и на 130 км за последние 50 лет в Квебеке, Канада. Наблюдаемый тренд температуры вечной мерзлоты соответствует тренду температуры воздуха в Северном полушарии. Согласно отчету Международной группы экспертов по исследованию климата, около 20% наземной вечной мерзлоты в Арктике является уязвимой к резкому таянию и оседанию грунта, что, по прогнозам, приведет к увеличению площади небольших озер более чем на 50% к 2100 году [4].

### **Воздействие на инфраструктуру**

Изменение состояния вечной мерзлоты представляет различные угрозы для инфраструктуры, включая потепление, утолщение активного слоя и опасности, связанные с оттепелями. Результатом таяния вечной мерзлоты может быть разрушение зданий и дорог, что потенциально приведет к огромным экономическим потерям, оцениваемым в десятки миллиардов долларов для арктической инфраструктуры в ближайшем будущем. Плохое проектирование в прошлом и сам процесс строительства могут также способствовать таянию вечной мерзлоты, но изменения климата значительно усугубляют последствия. Транспортная и энергетическая инфраструктура, такие как железные дороги и нефтегазопроводы, оказываются наиболее уязвимыми. Прогнозируется, что к

2060 году расходы на техническое обслуживание и ремонт инфраструктуры, связанные с утратой несущей способности вечной мерзлоты, могут достичь примерно 30 миллиардов долларов США в арктическом регионе [4].

Также известно, что здания, построенные в 60-80-х годах (I принцип строительства на мерзлых и многолетних грунтах), испытывают снижение несущей способности свайного основания до 25%, но в большинстве регионов это снижение остается на уровне 10-20%. Проекция изменения климата показывает, что к 2050 году снижение несущей способности значительно возрастет. Большинство старых зданий станут непригодными для эксплуатации задолго до завершения их "жизненного цикла". Необходимо организовать систему мониторинга состояния таких зданий и разработать меры для обеспечения их эксплуатационной надежности. Среди технологических и конструктивных решений важными являются системы термостабилизации грунтов, включая применение свай, установленных в оттаявший грунт до достижения плотного упора. Это поможет поддерживать работоспособность оснований и фундаментов зданий и сооружений в условиях изменения климата [1].

### **Последствия таяния вечной мерзлоты**

Таяние вечной мерзлоты в Арктике может иметь последствия для регионов за пределами Арктики. К ним относятся воздействия на инфраструктуру вечной мерзлоты, используемую для международной торговли: транспортные маршруты и аэропорты, энергетическая инфраструктура, такая как трубопроводы (см. раздел «Воздействие на инфраструктуру»), а также экономические возможности, предоставляемые улучшенным доступом к природным ресурсам. Ущерб инфраструктуре, связанный с таянием вечной мерзлоты, также может повлиять на финансовый и страховой секторы. Меры и политика по адаптации для противодействия влиянию пострадавших субъектов на торговлю и финансы необходимы для решения этих изменяющихся условий [4].

Другие проведенные исследования свидетельствуют о повышении

температуры воздуха в зоне сбора данных, вызвавшем повышение температуры многолетнемерзлой породы и увеличение сезонно-талого слоя, что привело к практически повсеместному уменьшению несущей способности оснований сооружений. Наибольшие изменения при этом коснулись южной части криолитозоны Западной Сибири. В некоторых районах уменьшение несущей способности уже выходит за пределы коэффициентов запаса, принятых при строительстве. Ситуация усугубляется интенсивным техногенным отеплением вечномерзлых грунтов оснований, особенно в поселениях с развитой городской инфраструктурой, а также на трассах трубопроводов. Новые здания и сооружения должны быть построены с учетом среднесрочных климатических прогнозов, при этом обязательен мониторинг существующей инфраструктуры и быстрое принятие инженерных решений, направленных на сохранение температуры многолетнемерзлой породы [2].

После экспериментального оттаивания многолетнемерзлой породы было обнаружено, что РНК-вирусы в вечной мерзлоте являются новыми и отличаются от вирусов в других местах обитания, изученных на сегодняшний день. Они представляют собой потенциальную патогенную угрозу для людей, животных и растений, заставляя задуматься нас о необходимости мер по противодействию глобального потепления во избежание новых эпидемий [5].

### **Действия, необходимые для адаптации процесса таяния вечной мерзлоты**

Изменение экосистем, вызванное таянием вечной мерзлоты, требует разнообразных мер адаптации. Таяние вечной мерзлоты представляет собой структурное изменение пород и происходит сезонно. Однако, как было отмечено в предыдущем разделе о последствиях таяния вечной мерзлоты, оно может иметь долгосрочные последствия для экосистем.

Действия по адаптации можно классифицировать следующим образом:

- 1) Инженерные подходы: в строительных проектах и нормах учитывать прогрессирующее протаивание вечной мерзлоты;
- 2) Изменение поведения: заключается в том, чтобы деятельность

соответствовала соответствующим изменениям. Это один из основных вариантов для многих коренных народов, обитающих в зонах многолетнемерзлых пород и зависящих от традиционных средств к существованию;

3) Организационные меры. Изменяя обычную деятельность, общества могут решить проблему таяния вечной мерзлоты. Можно увеличить финансирование технического обслуживания инфраструктуры, разработки систем предупреждения об острых опасностях, которые может вызвать таяние вечной мерзлоты, или совместного планирования подходящих ответных мер;

4) Регулирующие и политические меры. Путем изменения законов, правил и других форм регулирования можно повысить способность адаптироваться к таянию вечной мерзлоты. Они могут включать новые правила для зданий или инфраструктуры, правила землепользования для максимальной защиты вечной мерзлоты или правила переселения [4].

### **Выводы**

Трудно отрицать тот факт, что глобальное потепление все больше и больше влияет на климат земли. Данное потепление не обошло стороной и многолетнемерзлые породы. Зона с вечной и сезонной мерзлотой все меньше и меньше по занимаемой площади, что влияет на все здания и инфраструктуру, построенные в данных зонах. Необходимо внимательно следить за потеплением пород и адекватно реагировать компетентным службам на возникшие проблемы, чтобы минимизировать случаи аварийных случаев промышленных и гражданских зданий.

Также необходимо международному сообществу приложить максимум усилий для того, чтобы как можно быстрее замедлить глобальное потепление во избежание проблем в Северном полушарии, в зоне многолетнемерзлых пород.

### **Библиографический список:**

1. Никифорова, Н. С. Несущая способность свай в многолетнемерзлых грунтах при изменении климата / Н. С. Никифорова, А. В. Коннов // Construction

and Geotechnics. – 2021. – Т. 12. – № 3. – С. 14-24. – DOI 10.15593/2224-9826/2021.3.02. – EDN HADEJW.

2. Стрелецкий, Д. А. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на Севере Западной Сибири / Д. А. Стрелецкий, Н. И. Шикломанов, В. И. Гребенец // Криосфера Земли. – 2012. – Т. 16. – № 1. – С. 22-32. – EDN OSJJDB.

3. Hu, Guojie & Zhao, Lin & Wu, Tonghua & Wu, Xiaodong & Park, Hotaek & Li, Ren & Zhu, Xiaofan & Ni, Jie & Zou, Defu & Hao, Junming & Li, Wangping. (2022). Continued Warming of the Permafrost Regions Over the Northern Hemisphere Under Future Climate Change. *Earth's Future* [Продолжающееся потепление регионов вечной мерзлоты Северного полушария в условиях будущего изменения климата. Будущее Земли]. 10. 10.1029/2022EF002835.

4. Meinander, Outi & Hildén, Mikael & Lappalainen, Hanna & Mosoni, Claire & Ruuhela, Reija & Kuntsi-Reunanen, E. & Carter, Timothy & Fronzek, Stefan & Pirttioja, Nina & Arslan, Ali & Kupiainen, Kaarle & Isaksen, Ketil & Lihavainen, Heikki & Aalto, Juha. (2022). Permafrost Thaw and Adapting to its Multiple Effects in the Arctic [Таяние вечной мерзлоты и адаптация к его множественным последствиям в Арктике].

5. Wu, Ruonan & Bottos, Eric & Danna, Vincent & Stegen, James & Jansson, Janet & Davison, Michelle. (2022). RNA Viruses Linked to Eukaryotic Hosts in Thawed Permafrost [РНК-вирусы, связанные с эукариотическими хозяевами в талой вечной мерзлоте]. *mSystems*. 7. e0058222. 10.1128/msystems.00582-22.