

Арктика теряет опору: таяние вечной мерзлоты угрожает зданиям на сотни миллиардов долларов



Дата публикации: 04.09.2026

В Арктике фундамент здания зависит не только от бетона, свай и качества строительных работ. Его надежность может определяться температурой грунта на глубине нескольких метров. Миллионы квадратных метров жилья и другой инфраструктуры были построены с расчетом на то, что вечная мерзлота останется достаточно холодной и прочной. Но климат меняется, а вместе с ним меняются свойства основания, которое десятилетиями считалось практически постоянным.

Вечной мерзлотой называют грунт, сохраняющий температуру не выше 0 °С как минимум два года подряд. Она распространена на огромных территориях Аляски, Канады и России. При этом мерзлый грунт вовсе не представляет собой однородную глыбу льда. В нем находятся минеральные частицы, органическое вещество и разное количество льда. Именно содержание льда во многом определяет, насколько сильно поверхность может просесть после оттаивания.

Когда лед в грунте начинает таять, объем и механические свойства

основания меняются. Земля способна оседать неравномерно: один участок остается относительно стабильным, соседний опускается. Для здания такая ситуация особенно опасна. Фундамент можно сравнить со столом: если пол под одной ножкой внезапно просел, нагрузка распределяется уже совсем иначе. В сооружениях результатом становятся деформации фундаментов и несущих конструкций, повреждения коммуникаций и необходимость дорогостоящего ремонта.

Новое исследование, опубликованное в *Earth's Future*, попыталось оценить экономический масштаб этой проблемы для циркумполярной Арктики. По расчетам авторов, к середине XXI века потенциальные затраты, связанные с повреждением зданий вследствие деградации вечной мерзлоты, могут достигнуть примерно 261 миллиарда долларов.

Особенно примечательно, что прежняя оценка составляла около 110 миллиардов. Почему новая цифра оказалась более чем вдвое выше? Дело не в резком изменении климатического прогноза, а в том, как ученые начали считать сами здания.

Ранние оценки в значительной степени воспринимали застройку как двумерную карту: можно определить контур здания и площадь земли, которую оно занимает. Но десятиэтажный жилой дом и одноэтажное строение с одинаковым пятном застройки — совершенно разные объекты с точки зрения количества конструкций и стоимости восстановления. Особенно велико такое различие в населенных пунктах российской Арктики и Сибири, где в советский период было построено множество многоэтажных жилых зданий.

Исследователи решили добавить третье измерение — высоту. Для этого пришлось фактически создать крупномасштабный цифровой портрет арктической застройки. Команда обработала около 10 терабайт спутниковых изображений и использовала модели глубокого обучения для обнаружения зданий. Другая модель помогала классифицировать объекты по назначению.

Но увидеть крышу из космоса недостаточно. Для определения высоты исследователи привлекли ArcticDEM — цифровую модель рельефа Арктики. Сопоставляя высоту верхней части сооружения с уровнем его основания, можно приблизительно определить высоту здания. Затем данные объединили с информацией из строительных норм США, Канады и России, чтобы оценить количество этажей и общую площадь жилых объектов.

В результате вместо плоских контуров на карте исследователи получили гораздо более реалистичное представление о количестве застроенного пространства, находящегося под угрозой. Именно учет многоэтажности

существенно увеличил оценку возможных расходов.

После этого цифровую модель застройки сопоставили с прогнозами деградации вечной мерзлоты. Так возникла карта не просто климатического риска, а потенциального экономического воздействия: где находятся здания, насколько велика их площадь и как изменение мерзлого грунта способно затронуть существующую инфраструктуру.

Однако цифру 261 миллиард долларов важно понимать правильно. Это модельная оценка потенциального ущерба, а не счет, который неизбежно придется оплатить к определенной дате. Будущие потери будут зависеть от темпов потепления, свойств грунта, состояния конкретных зданий, инженерных решений и мер адаптации. Кроме того, исследование не учитывало будущие демографические изменения и поэтому не определяло, какие из сегодняшних зданий действительно будут эксплуатироваться через несколько десятилетий.

Работа важна еще и потому, что превращает глобальную проблему изменения климата в конкретную инженерную задачу. Для небольшого арктического города вопрос звучит не как «насколько нагреется планета?», а гораздо практичнее: какие дома, дороги и коммуникации окажутся наиболее уязвимыми и куда следует направить ограниченные средства в первую очередь.

Получение таких данных самостоятельно требует спутниковой информации, климатических моделей, вычислительных ресурсов и специалистов. У небольших северных населенных пунктов всего этого часто нет. Поэтому результаты проекта предоставляются через Permafrost Discovery Gateway, чтобы ими могли пользоваться исследователи, органы управления и арктические сообщества.

Есть и более широкий аспект. На вечной мерзлоте находятся не только жилые дома. Арктика включает промышленную, транспортную и энергетическую инфраструктуру, значение которой намного превосходит численность местного населения. Разработанный подход потенциально можно распространить на другие типы объектов, хотя для нежилых зданий оценивать этажность и площадь сложнее из-за огромного разнообразия конструкций.

Вечная мерзлота долго воспринималась как часть неподвижного северного ландшафта. Теперь становится очевидно, что это динамическая составляющая инженерной среды. Когда она оттаивает, климатическое изменение буквально превращается в строительную нагрузку — и стоимость этой трансформации может измеряться уже сотнями миллиардов долларов.

Ссылка: «Уточненное моделирование увеличения арктического

кругополярного строительного фонда позволяет оценить ущерб от деградации вечной мерзлоты в середине века» DOI: [10.1029/2026ef008578](https://doi.org/10.1029/2026ef008578).