



Источник фото: pixabay.com  
Photo source: pixabay.com

## ТАЮЩАЯ МЕРЗЛОТА: КАК ЗА НЕЙ НАБЛЮДАЮТ, ЧТО ДЕЛАЮТ ДЛЯ ЕЕ СОХРАНЕНИЯ, ЖДАТЬ ЛИ МАССОВОГО РАЗРУШЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ

**ЛЮДМИЛА ДЬЯЧЕНКО**  
Специальный корреспондент

### АННОТАЦИЯ

В сфере многолетней, а теперь уже тающей, мерзлоты смешались научные и прочие разнообразные интересы. Проблема есть, катастрофы пока нет, но нередко эта ситуация преподносится как устрашающая.

В катастрофизации заинтересованы, например, представители большой политики. К примеру, в марте интернет заполнили фотографии цветущей сакуры – мол, это произошло слишком рано из-за потепления климата, людей и техники слишком много – перегревают планету.

Также периодически муссируется идея метановой катастрофы. Дескать, органика, накопленная еще в древности и законсервированная в мерзлоте, из-за таяния последней начнет разлагаться и тонны парниковых газов будут выброшены в атмосферу. Но это всего лишь гипотеза, причем, вероятно, ложная. Ученые Государственного гидрологического института Росгидромета неоднократно ее опровергали. Сейчас некоторые СМИ «разгоняют» идею возможного масштабного разрушения гражданских и промышленных сооружений из-за таяния мерзлоты.

Редакция журнала «Геоинфо» заинтересовалась этой темой в отношении того, как крупные российские компании решают инженерные проблемы, чтобы ситуация действительно не превратилась в катастрофу, какие задачи встают при возведении новых, реконструкции и укреплении старых строительных объектов в зоне распространения многолетнемерзлых пород и кто за все это это отвечает.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

изменения климата; таяние многолетней мерзлоты; деформации инженерных сооружений; инженерно-геокриологический мониторинг; геокриологический прогноз; новый уровень проектирования.

# MELTING PERMAFROST: HOW IT IS OBSERVED, WHAT IS BEING DONE TO PRESERVE IT, WHETHER TO EXPECT MASS DESTRUCTION OF ENGINEERING STRUCTURES

LYUDMILA D'YACHENKO

Special correspondent

## ABSTRACT

In the field of long-term (and now melting) permafrost, scientific and various other interests have mixed. There is a problem, there is no catastrophe yet, but this situation is often presented as frightening.

For example, some representatives of big politics are interested in the catastrophizing. For instance, in March, the Internet was flooded with photographs of flowering cherry trees. They say that the trees bloomed too early due to the climate warming; there are too many people and equipment and they overheat the planet.

The idea of a methane catastrophe is also periodically exaggerated. They say that the organic matter accumulated in antiquity and conserved in the permafrost will begin to decompose and tons of greenhouse gases will be released into the atmosphere due to the thawing of the permafrost. But this is just a hypothesis, and probably false one. The scientists of the State Hydrological Institute of Roshydromet have repeatedly refuted it.

Now some media are "dispensing" the idea of a possible large-scale destruction of civil and industrial structures due to the thawing of the permafrost.

The editorial staff of the Geoinfo journal became interested in this topic regarding the next questions. How do large Russian companies solve engineering problems so that the situation does not really turn into a disaster? What tasks arise when building new construction objects, reconstructing and strengthening old ones in the zone of permafrost? And who is responsible for solving those problems?

## KEYWORDS:

climate change; thawing of permafrost; deformation of engineering structures; engineering-geocryological monitoring; geocryological forecast; new level of design.

## Наблюдения за мерзлотой станут повсеместными и постоянными ►

В ситуации с многолетней мерзлотой домислов и эмоций гораздо больше, чем научных фактов. Специалисты в этой сфере есть в США, Германии, Португалии. Многие из них – выходцы из СССР, эмигрировавшие в 1990-х. Не обязательно, чтобы страны находились в соответствующих природных зонах – ведь проблема мировая и интересует всех.

Эти ученые в большинстве своем не занимаются реальными наблюдениями, а лишь создают различные базы данных, запрашивая исходную информацию в России. Ведущая роль в изучении криолитозоны принадлежит именно нашей стране. Однако масштабных наблюдений у нас до сих пор не проводилось – их система только создается.

В феврале этого года Государственная дума РФ приняла в первом чтении зако-

нопроект о государственном мониторинге мерзлоты. До конца 2025 года должна быть создана сеть из 140 наблюдательных пунктов на территории от Кольского полуострова до Чукотского. Южными рубежами мониторинга станут Республика Тыва и Алтайский край. Вся работа будет вести Арктический и антарктический НИИ Росгидромета, и уже в этом году он получит данные с 7 первых стационаров, расположенных в Ямало-Ненецком автономном округе. В 2022 году был пройден первый этап обследования всех метеостанций на пригодность их к фоновому мониторингу на криологических стационарах. Часть метеостанций не подошла из-за нахождения уже внутри городских агломераций, в частности Салехардская метеостанция. Поэтому было принято решение расширить диаметр вокруг метеостанции, в котором можно организовывать стационар.

В результате этой работы под контроль будет взято 65% территории Рос-

сии. Именно столько занимает криолитозона. Активно таять она стала лет 20–30 назад. За указанный период температура на глубине нулевых годовых амплитуд повысилась в диапазоне от 0,5 до 2 градусов. В Арктике процессы изменений состояния мерзлоты проходят активнее, чем в Антарктиде.

Как прокомментировал проект государственного мониторинга мерзлоты министр природных ресурсов РФ Александр Козлов, на основе собранных материалов будет сделана оценка изменений состояния многолетней мерзлоты, выбросов парниковых газов, проведен прогноз изменений климата и разработаны сценарии социально-экономического развития страны. Часть информации будет размещена в открытом доступе.

## Факты превращаются в хайп ради массового внимания ►

Многолетняя мерзлота неоднородна. Она бывает сплошной, преимуществен-

**Таблица. Оценка затрат на восстановление и поддержание жилого фонда в связи с протаиванием и деградацией многолетней мерзлоты (источник: Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А. Экономическая оценка последствий деградации // Вестник РАН. 2021. Т. 91. № 2. С. 105–114)**

Регион	Жилой фонд под риском деградации вечной мерзлоты, %*	ВРП, млрд руб. (в ценах 2018 г.)	Сценарии развития					
			консервативный			модернизационный		
			Общая площадь жилья, тыс. м <sup>2</sup>	Экономический ущерб, млрд руб. (в ценах 2018 г.)		Общая площадь жилья, тыс. м <sup>2</sup>	Экономический ущерб, млрд руб. (в ценах 2018 г.)	
				за период 2020–2050 гг.	в среднем в год		за период 2020–2050 гг.	в среднем в год
Республика Коми	100 (100/100)	665.74	8 036.60	88.8 (88.8/88.8)	2.96 (2.96/2.96)	8 601.19	89.7 (89.7/89.7)	2.99 (2.99/2.99)
Ненецкий АО	99 (0.3/99.1)	305.21	1 797.47	92.6 (0.3/92.7)	3.09 (0.01/3.09)	2 379.06	122.8 (0.4/122.8)	4.09 (0.01/4.1)
Ханты-Мансийский АО	4.1 (0.0/60.9)	4447.5	18 213.54	2.3 (0.0/33.7)	0.08 (0.0/1.12)	20 240.93	2.6 (0.0/38.1)	0.09 (0.0/1.27)
Ямало-Ненецкий АО	99.8 (79.1/99.8)	3083.5	14 020.58	416.5 (330.1/416.5)	13.88 (11.0/13.88)	17 642.86	536.4 (425.1/536.4)	17.88 (14.17/17.88)
Красноярский край	74.0 (0.1/99.4)	2280	13 361.33	188.2 (0.3/251.5)	6.27 (0.01/8.38)	14 559.61	197.1 (0.3/263.3)	6.57 (0.01/8.78)
Республика Саха (Якутия)	6.5 (0.0/97.7)	1084.6	32 772.92	114.7 (0.0/1723.7)	3.82 (0.0/57.46)	38 302.83	134.1 (0.0/2016.2)	4.47 (0.0/67.21)
Магаданская область	2.6 (0.0/97.2)	170.72	4 638.95	1.8 (0.0/142.5)	0.13 (0.0/4.75)	5 255.38	4.0 (0.0/149.0)	0.13 (0.0/4.97)
Чукотский АО	0.6 (0.6/81.1)	78.143	1 154.80	0.8 (0.8/101.8)	0.03 (0.03/3.39)	1 732.20	1.1 (1.1/152.7)	0.04 (0.04/5.09)
<b>ИТОГО</b>	<b>53.8 (29.9/95.2)</b>	<b>12115.41</b>	<b>103 666.7</b>	<b>907.7 (420.2/2851.2)</b>	<b>30.26 (14.01/95.0)</b>	<b>119 611.58</b>	<b>1087.7 (516.6/3368.2)</b>	<b>36.26 (17.22/112.27)</b>

\* В скобках указаны минимальная/максимальная величины ущерба, обусловленные глубиной протаивания и температурой многолетнемерзлых грунтов и соответствующей степенью ослабления их несущей способности.

но сплошной, несплошной. Последняя делится на собственно несплошную (менее 80%), массивно-островную (менее 50%) и спорадическую (менее 20%). Кроме того выделяется реликтовая мерзлота (наследие более ранних оледенений). В зависимости от зональности и глубинности мерзлоты процессы изменений ее состояния проходят по-разному.

Ее изменения связывают как с потеплением климата, так и с вмешательством человека: вырубкой лесов, строительством, промышленной деятельностью. В результате развиваются криогенные процессы, такие как термокарст, термоэрозия, термоденудация и т. д. Меняется объем горных пород из-за таяния воды в составе грунта, образуются озерные котловины, полигональные ландшафты, бугры пучения, просадки грунтов, приводящие к деформированию построек, происходит заболачивание поверхности. Специалисты по инженерной защите не раздувают ситуацию так, как СМИ в погоне за внима-

нием читателей, но приводят факты и предлагают технологии, которые позволят уберечь объекты. Например, ставить здания на сваи, делать основания фундаментов из непучинистых материалов, помнить про вентилируемые подполья и сезонно-охлаждающие устройства.

На сегодня 40% построек в зоне многолетней мерзлоты, по оценкам специалистов Министерства природных ресурсов РФ, деформированы. Ежегодный ущерб от таяния мерзлоты составляет 50–150 миллиардов рублей (см. таблицу).

Только в России на мерзлоте стоят целые города. Когда они возводились, люди не думали, что она растает, и воспринимали ее как вечный фундамент.

В деформировании отдельных объектов повинна, однако, не только теплая природа, но и халатность человека. Например, в Норильске обрушилось здание, спроектированное так, что один его угол опирался на скалу, а три остальных – на многолетнюю мерзлоту.

Со временем мерзлота дала понять, что она не вечная.

### Ученые смоделировали опасность на оттаявшей трассе ▶

Впечатляющим получился анализ космической съемки трассы «Кольма». Сотрудники АО «Терра Тех», дочерней компании АО «Российские космические системы», обработали свежие и архивные материалы и предположили, что 40% дороги может быть деформировано.

Был обследован участок длиной 81 км между селами Чурапча и Ытык-Кюель. Общая протяженность дороги – 2032 км. Она строилась с 1931 по 1953 год для развития горной добычи на верхней Колыме. Ученые определили шесть степеней риска для трассы в зависимости от рельефа и степени выраженности повреждений дорожного полотна.

Термокарстовые процессы проявились в последние годы. Они начинаются с таяния повторно-жильных льдов, затем образуются полигональные грунты,

термокарстовые озера и котлованы. Все это угрожает безопасному передвижению по дороге.

В Якутии резко-континентальный климат и сплошная мерзлота мощностью от 100 до 900 метров. На глубине 10–15 метров температура держится от минус трех до минус пяти градусов. Летом солнце нагревает воздух до плюс 20, и тепло все сильнее разъедает мерзлоту, все активнее развиваются криогенные процессы.

Однако на 60% обследованного участка ученые не увидели никаких сигналов опасности. Остальные же 40% оказались подверженными риску термокарстовых процессов и, как следствие, деформированию дорог и других линейных сооружений. Самый высокий риск был зафиксирован на 5% трассы. На остальных участках может еще не быть термокарстовых процессов, но уже видны следы вытаивания ледяных жил.

В СМИ, которые гонятся за «графиком», эта информация преподнесена так, будто 40% всей трассы «Колыма» уже деформировались. А в отчете ученых говорится, что дорога **может быть** деформирована на 40%, и этот вывод сделан на основе анализа участка в 80 километров. Всю трассу еще никто не изучал, и главная задача сейчас заключается в постоянном и всеобъемлющем комплексном мониторинге, чтобы можно было своевременно предотвратить деформации объектов инфраструктуры вследствие изменений в состоянии мерзлоты.

### Следить за дорогой надо на земле, а не только из космоса ▶

Как рассказали в пресс-службе Федерального дорожного агентства «Росавтодор», масштабный мониторинг на трассах «Амур», «Колыма», «Вилуй» и «Лена» начался в 2021 году.

Оборудованы стационарные посты наблюдений за метеорологическими и мерзлотными условиями, собирается информация о состоянии дороги и придорожной полосы по 30 параметрам. Специалисты используют свежие данные дистанционного зондирования земли и результаты инженерно-геологических исследований, которые проводились раньше, в качестве заверочных данных.

Под более пристальным вниманием находятся участки, где произошедшие изменения уже очевидны. Цель мониторинга – выявить причины происходящих изменений в состоянии мерзлоты

и выработать на основе анализа собранного научно-технического материала рекомендации по поводу того, как избежать деформаций гражданских объектов в зоне распространения многолетнемерзлых пород.

В этом году на сибирских трассах будут размещены новые посты наблюдений. «Анализ накопленных данных будет способствовать адаптации участков таких дорог к изменениям климата и переходу на новый уровень проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов в криолитозоне. Кроме того, полученные наработки будут учитываться в будущем при развитии Арктической зоны РФ», – сообщил представитель пресс-службы Росавтодора.

В феврале вышел единый документ «Методические рекомендации по организации инженерно-геокриологического мониторинга и оборудованию инженерно-геокриологических мониторинговых стационарных постов в полосе отвода автомобильных дорог в криолитозоне». Это позволит синхронизировать научные исследования и работу мониторинговых постов, отраслевых экспертов и научных институтов РАН так, чтобы понять, как будет вести себя мерзлота в будущем, и подготовить геокриологический прогноз на срок эксплуатации инфраструктуры.

### Горячий газ пустили по трубам-термосам ▶

С объектами Газпрома другая история. Среди них нет таких старых, как трасса «Колыма», поэтому многие уже построены с учетом того, чтобы не разморозить мерзлоту.

Деформации зданий, однако, имеют место. Для наблюдений к трещинам прикрепляют тонкие металлические таблички – марки. Если со временем табличка изогнулась или разорвалась – значит, трещина увеличилась.

Чтобы такое случалось как можно реже, на Бованенковском месторождении на Ямале, где запасов голубого топлива хватит на 100 лет эксплуатации, позаботились о снижении воздействия горячего газа на верхние слои грунтов. Значительная часть территории там сложена льдистыми суглинками. При температуре минус 5 градусов – это «камень», выше минус 1,5 – «пластелин». Оттаивая еще больше, грунт превращается в жидкую кашу. Из-за сложных инженерно-геологических условий это месторождение, открытое в 70-х годах прошлого века, долгое время не разрабатывалось, пока инженеры не придумали,

как обеспечить устойчивость сооружений.

Возле каждой скважины теперь устанавливают парожидкостные термостабилизаторы, похожие на системы охлаждения автомобилей. Внутри замкнутого трубного пространства циркулирует хладагент, находящийся при температуре и давлении фазового перехода «жидкость – пар». Зимой, пока воздух на улице имеет температуру ниже минус 15 градусов, хладагент охлаждается в выступающей на поверхность части и переходит из пара в жидкость, стекает по стенкам вниз, отдавая холод грунту. Нагреваясь по мере движения вниз, он превращается в пар, забирает из грунта тепло, потраченное на фазовый переход из жидкости в пар, и снова поднимается в виде пара вверх. Искусственного холода хватает на устойчивую эксплуатацию скважин в летний период. Таких установок на месторождении около тысячи.

Другое изобретение российских инженеров, которое с успехом используется на Ямале, – теплоизолированные скважины. Газ добывается на глубине от 1 до 1,5 тысяч метров, температура газа меняется в диапазоне от 35 до 50 градусов. Подошва многолетней мерзлоты находится выше – на глубине от 120–140 до 280–300 метров.

Чтобы верхняя часть грунтов не оттаивала, газ пускают по теплоизолированным лифтовым трубам. Стенки у них вакуумные, как в обычном термосе – поэтому на профессиональном сленге газовиков это не трубы, а термосы.

### Мост заморозили, а на каждое здание поместили датчик ▶

Другой объект, о котором рассказали сотрудники пресс-службы Газпрома, – железная дорога от станции Обская до Бованенково на Ямале. Чтобы обеспечить несущую способность мерзлоты, строительство велось только при отрицательных температурах.

Насыпь для железной дороги сделана послышной. Влажный пылеватый песок, приобретающий нужную прочность на морозе, чередовался с пенополистеролом и геотекстилем. Получилась надежная система термоизоляции, в результате чего конструкция не расплзается в летний период. Все материалы произведены на отечественных предприятиях.

Часть железной дороги – мост через пойму реки Юрибей, самый длинный за полярным кругом. Длина его – 3,9 км, а срок службы – 100 лет. Он стоит на грунтах, которые считаются непригод-

ными для строительства. Мерзлота здесь пронизана криопэгами, которые замерзают, только если температура грунта опустится ниже минус 30 градусов благодаря наличию в них высокоминерализованных рассолов.

Опоры моста, выполненные с использованием технологии термостабилизации, сами заморожены и смерзлись с многолетнемерзлым льдом на глубине от 30 до 40 метров. Некоторые пролеты моста подняты на дополнительную высоту, чтобы не мешать традиционным путям миграции северных зверей и птиц и жизненному укладу местного населения.

Горно-металлургическая компания «Норильский никель» увеличила в 2021 году штат сотрудников, которые занимаются геотехническим мониторингом, техническими осмотрами фундаментов и анализируют состояние грунтов. Сбор данных автоматизирован. Информация о состоянии фундаментов и грунтов собирается со спутников компании «Совзонд» и с датчиков на объектах. Приборы следят за деформациями фундаментов, за температурой и влажностью в подземных технических пространствах и могут дать сигнал тревоги в реальном времени.

Планируется оснастить датчиками 1500 сооружений: административные и производственные здания, трубопроводы, резервуары, объекты культурного наследия, мосты, железные дороги, эстакады, линии электропередачи.

Спутниковые изображения позволяют выявить горизонтальное и вертикальное смещение элементов, а бурение скважин необходимо для уточнения характеристик грунтов и установки датчиков, чтобы следить за подземной температурой. На большей части обследуе-

мой территории пока не было выявлено значимых изменений.

### Правильное мнение нужно на всех уровнях ▶

Работа с общественным мнением не менее важна, чем мониторинг многолетней мерзлоты. В противном случае научная информация может быть неверно истолкована.

Например, искусственный шум по поводу парниковых газов привел к закрытию многих заводов в России и заглушил противоположное, неполитизированное, мнение ученых о том, что, например, леса в РФ потребляют гораздо больше углекислого газа, чем выделяют предприятия.

Не исключена версия о том, что раздувание идей о метановой катастрофе и вероятном массовом разрушении инженерных объектов из-за потепления – часть западной информационной войны, цель которой – тревожить россиян любыми способами, чтобы им было некомфортно в своей стране.

Если отойти от большой политики, то работать с общественным мнением необходимо и для того, чтобы местное население и региональные власти правильно воспринимали экологическую ситуацию и предпринимали необходимые меры для контроля состояния гражданских сооружений.


По данным социологов, общественное восприятие таяния мерзлоты часто не совпадает с данными наблюдений. Есть две крайности. Одни люди воспринимают единичные аномальные случаи как катастрофу, а другие, напротив, явные признаки изменений природы считают локальными явлениями и никак не связывают их с глобальным потеплени-

ем. Словом, мало организовать регулярный мониторинг объектов и разработать меры по адаптации – нужно еще и понимание проблемы в каждом регионе. Именно поэтому в 2018 году в республике Саха-Якутия был принят первый в России закон о защите мерзлоты. Аналогичный закон сейчас проходит активное обсуждение в ЯНАО, к чему привлечены специалисты геотехнического мониторинга из топливно-энергетических компаний и государственных структур и научное сообщество.

Эксперты уверяют, что если все делать правильно, то правильно и получится. Строить дорогу, например, можно с сохранением мерзлоты, сооружая насыпь на ней, и с растапливанием мерзлоты, как будто ее там и не было. В каждом случае надо понимать, какой из принципов лучше работает, и тогда сроки эксплуатации объекта будут соответствовать ожиданиям.

Таяние мерзлоты – это не только минусы. Сама природа стремится к плюсам. На место тундры, например, приходит лес, расширяются площади сельскохозяйственных угодий. Такие наблюдения с 1970-х годов ведутся на мониторинговых площадках в Уренгое. Но об этом мало пишут. Выгоднее преподнести идею о катастрофе – это стопроцентная гарантия для некоторых журналистов СМИ, что все прочитают их опусы. ❗

**Кстати, эти вопросы будут подробно обсуждаться на технических сессиях, которые пройдут 19–20 апреля в рамках выставки нашего журнала «GeoИнфо Forum & Expo 2023». Участие бесплатное. Требуется регистрация.**



## Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал

# GeoИнфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>

