

2023 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2023. – С. 34-38. – EDN JDWFRY.

2. Азаренко Ю.А. / Содержание и запасы углерода органического вещества в залежных и пахотных почвах Омского Прииртышья // Вестник Омского ГАУ. 2024. № 4. С. 7-16. УДК 631.417.1631.472(571.13)

3. Шарифуллин, А. Г. Особенности современных эрозионно-аккумулятивных процессов на серых лесных почвах ложбин малого водосбора Республики Татарстан / А. Г. Шарифуллин, А. В. Гусаров // Почвоведение. – 2022. – № 1. – С. 133-144. – DOI 10.31857/S0032180X22010117.

4. Аксенова Ю.В., Гиндемит А. М. / Влияние рельефа на показатели плодородия почв // Земледелие. 2024. №2. С. 19-24. doi:10.24412/0044-3913-2024-2-19-24.

5. Лукьянов, А. А. Влияние систем обработки почвы ампелоценозов на содержание и запас гумуса дерново-карбонатной почвы / А. А. Лукьянов // Научная жизнь. – 2019. – Т. 14, № 9(97). – С. 1403-1408. – DOI 10.35679/1991-9476-2019-14-9-1403-1408. – EDN SMKLZG.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ МОРОЗНЫХ ПУЧЕНИЙ МЕРЗЛОТНО-ТАЕЖНЫХ ПОЧВ: ПРИЧИНЫ, РАЗНОВИДНОСТИ И ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Яковенко Татьяна Евгеньевна, студентка 1 курса Института агrobiотехнологии, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», t.e.yakovenko@gmail.com
(Научный руководитель – **Бородина Кира Сергеевна**, ассистент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Аннотация: в данной статье комплексно исследуется феномен морозного пучения в мерзлотно-таежных почвах в условиях современного изменения климата. Рассмотрены физико-химические механизмы процесса пучения. Особое внимание уделено анализу влияния климатических изменений и техногенных факторов. В работе предложен комплексный подход к решению проблем, связанных с пучением.

Ключевые слова: морозное пучение, мерзлотно-таежные почвы, криолитозона, бугры пучения, деградация мерзлоты, климатические изменения, геотехнический мониторинг.

Введение

Мерзлотно-таежные почвы, формирующиеся в условиях распространения многолетнемерзлых пород (криолитозоны), являются динамичным и уязвимым компонентом экосистем Северного полушария. Республика Саха (Якутия) представляет собой уникальный природный полигон для изучения этих

процессов, так как на её территории сосредоточено около 40% площади всей многолетней мерзлоты России. Криогенные процессы, среди которых морозное пучение занимает центральное место, не только определяют микрорельеф и гидрологический режим территорий, но и представляют серьезную инженерно-геологическую опасность для населённых пунктов и инфраструктуры [5].

Механизмы и причины возникновения морозного пучения в мерзлотно-таежных ландшафтах

Возникновение морозного пучения – сложный процесс, обусловленный совокупностью трех обязательных условий: наличия дисперсного грунта (глины, суглинки, супеси), достаточного увлажнения и отрицательных температур, приводящих к промерзанию.

Основной движущей силой пучения является миграция почвенной влаги к фронту промерзания. При замерзании воды в порах грунта образуются ледяные линзы и прослойки. Это приводит к возникновению градиента влажности и, как следствие, капиллярно-осмотических сил, которые «подтягивают» незамерзшую воду из нижележащих более теплых горизонтов к фронту промерзания. Таким образом, объем льда в промерзающем слое может многократно превышать первоначальный объем поровой влаги [1].

Главным двигателем пучения является миграционная составляющая. Под действием градиентов температуры и давления (криогенного всасывания) незамерзшая вода из нижележащих талых слоев активно подтягивается к фронту промерзания, где кристаллизуется, формируя ледяные линзы. Лабораторные эксперименты позволили разделить вклад двух механизмов:

- кристаллизационный механизм: обусловлен замерзанием начальной поровой воды в грунте;
- криогенно-миграционный механизм: обусловлен массопереносом воды в промерзающий грунт.

Исследования показали, что основная доля (порядка 90%) в развитии давления пучения принадлежит начальной влажности грунта, и лишь около 10% добавляется за счет миграционной влаги [1]. При этом в открытой системе (с возможностью подтока воды) давление пучения всегда выше, чем в закрытой (без доступа воды), что доказывает важность миграционного процесса.

Способность грунта к пучению напрямую зависит от его дисперсности, начальной влажности и плотности.

- Гранулометрический состав: с увеличением содержания глинистых частиц пучинистые свойства грунтов резко возрастают.

- Начальная влажность: существует пороговое значение влажности (около 0.22-0.27 д.е.), ниже которого давление пучения не проявляется [1].

- Плотность грунта: увеличение плотности скелета грунта с 1.45 до 1.79 г/см³ приводит к росту давления пучения, так как увеличивается степень

заполнения пор водой и затрудняется переориентация минеральных частиц при замерзании.

– Засоленность: важным фактором, специфичным для многих регионов криолитозоны. Наличие солей понижает температуру замерзания поровой влаги, что может замедлять процесс пучения [2].

Разновидности и региональные особенности морозных пучений

На основе анализа современных исследований можно выделить несколько ключевых типов морозных пучений, каждый из которых имеет четкую географическую и ландшафтную приуроченность. Для наглядности представим классификацию и характеристики основных форм пучения в виде таблицы.

Таблица

Разновидности бугров пучения в мерзлотно-таежных регионах России

Тип бугра пучения / Регион	Морфология и размеры	Льдистость и генезис	Ключевые факторы активизации
Бугры пучения на газоносных равнинах (Зап. Сибирь)	Округлые или вытянутые бугры высотой 3-10 м.	Массивное ледяное ядро или залежи пластового льда. Нарушение гидрогеологического режима.	Техногенное воздействие, изменение теплового режима недр, положительный климатический тренд.
Плоскобугристые торфяники (северная тайга Зап. Сибири)	Полигональная сеть плоских бугров высотой 1-3 м.	Высокая льдистость торфяной залежи, наличие жильных льдов.	Изменение соотношения тепла и влаги, увеличение мощности сезонно-талого слоя.
Бугры пучения Олекмо-Чарского нагорья (горная тайга)	Бугры различных форм и размеров, приуроченные к склонам и долинам.	Ледяные ядра, образованные за счет напорных вод и инъекционного льда.	Высотная поясность, экспозиция склона, динамика подземных вод.
Техногенные деформации пучения (г. Якутск)	Деформации фундаментов, вздутия дорожных покрытий, трещины в стенах.	Наличие надмерзлотных таликов, высокотемпературные мёрзлые грунты.	Нарушение теплового баланса территории (застройка, утечки тепла), отсутствие мер термостабилизации.
Динамика аласных экосистем (Центральная Якутия)	Котловинные формы рельефа с циклической сменой обводнения и осушения.	Высокая льдистость многолетнемерзлых пород (ледовый комплекс).	Колебания уровня грунтовых вод, изменение количества осадков, иссушение деятельного слоя [2].

Влияние климатических условий на динамику пучения

Классическим следствием потепления считается катастрофическая деградация многолетней мерзлоты, ведущая к протаиванию ледяных ядер бугров пучения и их термокарстовому преобразованию [3]. Однако, на фоне положительного климатического тренда возможны и процессы новообразования мерзлых пород. Это связано с изменением гидрологического режима: увеличением осадков в холодный период, подтоплением территорий и миграцией влаги, которая, замерзая, формирует новые ледяные прослои и активизирует сезонное пучение.

Помимо климатических факторов, мощное влияние оказывает техногенез. В г. Якутске отмечается, что расположенные вблизи промышленные объекты (например, ТЭЦ) оказывают дополнительное отопляющее влияние на грунты, способствуя формированию и расширению таликов [5]. Это приводит к неравномерным деформациям: на одном участке может наблюдаться просадка из-за оттаивания, а на соседнем, где грунт остаётся мёрзлым, – активное сезонное пучение.

ТЭК России является ключевым объектом воздействия деградирующей мерзлоты. Только в Арктической зоне РФ добывается свыше 90% природного газа и 17% нефти [4]. При этом в лесотундровых ландшафтах Западной Сибири с прерывистым распространением мерзлоты кровля мерзлоты местами оторвалась от поверхности и опустилась до глубины 3–8 м, формируя надмерзлотный талик, что кардинально меняет условия устойчивости фундаментов.

Системы геокриологического мониторинга как основа адаптации

В настоящее время в России отсутствует единая и эффективная система мониторинга криолитозоны [4]. Существующие системы разрозненны:

- фоновый мониторинг проводится в крайне недостаточном объеме (всего 2 стационара в системе Минприроды, ~20 площадок РАН) и не обеспечивает репрезентативного покрытия;
- геотехнический мониторинг (ГТМ) внедряется предприятиями ТЭК, но ведется по разным методикам, без учета природных фоновых тенденций и при отсутствии обмена данными.

В качестве решения предлагается создание государственной системы мониторинга на основе сети федеральных геокриологических полигонов [4]. Эта система должна интегрировать фоновый и геотехнический мониторинг.

- Технологическая основа: комплекс методов, включающий дистанционное зондирование Земли, геофизические исследования, сеть термометрических скважин различной глубины, автоматизированные системы сбора данных.
- Организационная основа: создание координирующего органа (например, «Федерального агентства по вечной мерзлоте») и Федерального аналитического центра с региональными филиалами.

Ценным источником информации для оценки динамики мерзлотных процессов, в том числе пучения, являются ретроспективные данные. Как показано в исследованиях г. Якутска, сопоставление архивных аэрофотоснимков и генеральных планов разных лет с современными космическими снимками высокого разрешения позволяет выявить участки засыпанных водоёмов и проследить эволюцию температурного режима грунтов и связанных с ним деформаций [5].

Заключение

1. морозное пучение в мерзлотно-таежных почвах – это комплексный процесс, основными причинами которого являются миграция влаги к фронту промерзания и последующая кристаллизация.

2. на фоне глобального потепления и деградации многолетней мерзлоты (рост температур на 2.5-4.0°C) одновременно наблюдаются процессы деградации одних и активизации или новообразования других форм пучения. Техногенное воздействие выступает мощным катализатором этих процессов в урбанизированных ландшафтах.

3. процесс проявляется в разнообразных формах, имеющих четкую региональную специфику, определяемую ландшафтными, геологическими и климатическими условиями.

4. для минимизации рисков и обеспечения устойчивого развития регионов криолитозоны необходима разработка и внедрение государственной системы мониторинга криолитозоны.

Список литературы

1. Алексеев А.Г. Лабораторные исследования давления криогенного пучения грунта // Вестник НИЦ «Строительство». – 2020. – № 3(26). – С. 5-12.
2. Десяткин Р. В. (Р.В., 2021)// Наука и техника в Якутии. – 2021. – № 2 (41). – С. 13–18.
3. Десяткин Р. В., Фёдоров А. Н. О катастрофической деградации многолетней мерзлоты и ледового комплекса в условиях глобальных изменений климата // Наука и техника в Якутии. – 2023. – № 2 (45). – С. 71–76.
4. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В. и др. Развитие геокриологического мониторинга природных и технических объектов в криолитозоне Российской Федерации на основе систем геотехнического мониторинга топливно-энергетического комплекса // Криосфера Земли. – 2022. – Т. XXVI, № 4. – С. 3–18.
5. Новоприезжая В.А., Ефремова В.А., Куваев В.А. О динамике температурного режима грунтов на участках засыпанных водоёмов в г. Якутске // Наука и техника в Якутии. – 2022. – № 1(42). – С. 20-26