

Как обычная соль могла сделать «Землю-снежок» еще холоднее и задержать великое таяние



Дата публикации: 04.09.2026

Представьте Землю, на которой привычные синие океаны почти исчезли подо льдом, а белая поверхность отражает большую часть солнечного света обратно в космос. Примерно 700 миллионов лет назад наша планета действительно пережила несколько эпизодов экстремального оледенения, известных как «Земля-снежок». Насколько полно океаны тогда покрывались льдом, ученые продолжают обсуждать, но геологические данные свидетельствуют о распространении ледников даже в очень низких широтах.

Главным механизмом такого глубокого охлаждения давно считается обратная связь между льдом и альбедо. Альбедо показывает, какую долю падающего излучения поверхность отражает. Темный океан хорошо поглощает солнечную энергию, а снег и лед значительную ее часть возвращают в космос. Поэтому увеличение площади льда охлаждает планету, охлаждение способствует образованию нового льда, а новый лед усиливает охлаждение. Возникает климатическая петля положительной обратной связи.

Исследователи из Университета Тромсё предложили добавить в эту картину еще одного участника — обычную морскую соль. Согласно моделированию, опубликованному в *Climate of the Past*, при достаточно сильном охлаждении соли могли кристаллизоваться на поверхности морского льда и делать его еще светлее. Такой механизм авторы называют обратной связью «соль-альбедо».

На первый взгляд идея кажется странной. Если замерзает соленая вода, почему поверхность должна покрываться солью? Морской лед формируется не так, как кубик чистой воды в морозильнике. При образовании кристаллической решетки льда большая часть растворенных солей вытесняется в концентрированный рассол, остающийся в микроскопических каналах и полостях. По мере дальнейшего охлаждения состав этого рассола меняется, а отдельные соли начинают выпадать в кристаллический осадок.

Есть еще одно условие — поверхность должна терять лед. В чрезвычайно холодном и сухом климате вода способна переходить непосредственно из твердого состояния в водяной пар, минуя жидкую фазу. Этот процесс называется сублимацией. Вода постепенно покидает поверхность, а нелетучие соли остаются. Если процесс продолжается достаточно долго, концентрация кристаллов на поверхности увеличивается.

И здесь начинается самое интересное. Такая соляная корка способна быть чрезвычайно светлой. В лабораторных экспериментах ее отражательная способность достигала примерно 93%. Для сравнения, свежий снег может отражать около 83% падающего света, а тающий открытый морской лед — около 67%. Разница в несколько десятков процентов в масштабах огромной площади планеты потенциально означает серьезное изменение энергетического баланса.

Получается своеобразный климатический усилитель. Становится холоднее — на морском льду создаются условия для кристаллизации соли. Поверхность светлеет — поглощается меньше солнечной энергии. Температура падает еще сильнее — условия для накопления соли становятся благоприятнее.

Чтобы проверить потенциальную силу такого механизма, ученые включили солевые отложения в упрощенную климатическую модель. Особое внимание уделили тропическим областям открытого морского льда, где в условиях «Земли-снежка» испарение и сублимация могли превосходить количество выпадающего снега. Это существенно: толстый снежный покров просто скрыл бы соляную поверхность.

Модель продемонстрировала два возможных устойчивых состояния замерзшей планеты — без значительных солевых отложений и с покрытым солью морским льдом. Второй вариант оказался заметно холоднее. Более того,

при переходе из теплого состояния к глобальному оледенению модель стремилась попасть именно в более холодное состояние с солевыми отложениями.

Для появления эффекта не требовалось ждать практически полного замерзания рассола. Разные соли выпадают из него при разных температурах: некоторые процессы кристаллизации могут начинаться примерно при -8°C , другие становятся существенными при дальнейшем охлаждении. Поэтому механизм потенциально мог включиться еще в процессе развития оледенения, а не только после достижения экстремально низких температур.

Но у этой истории есть вторая сторона. Светлая соляная поверхность могла не только помогать планете охлаждаться, но и мешать ей впоследствии оттаивать. Согласно модели, для выхода из покрытого солью состояния требовалась более высокая концентрация атмосферного CO_2 , чем для варианта без солевых отложений.

Это связано с предполагаемым механизмом завершения эпох «Земли-снежка». Даже если поверхность планеты почти полностью покрыта льдом, вулканы продолжают выделять углекислый газ. При глобальном оледенении некоторые процессы, удаляющие CO_2 из атмосферы, могли сильно ослабнуть. Парниковый газ постепенно накапливался, пока его согревающий эффект не становился достаточным для начала масштабного таяния. Чем выше альbedo планеты, тем сильнее должен быть парниковый эффект, способный преодолеть это холодное состояние.

Однако превращать соль в «виновника» древнего глобального оледенения пока нельзя. Исследование не утверждает, что именно она запустила «Землю-снежок». Речь идет о потенциальной дополнительной обратной связи, способной усилить уже начавшееся охлаждение и сделать холодное состояние более устойчивым.

Кроме того, модель намеренно упрощает реальную климатическую систему. Морской лед движется, снег способен переноситься на большие расстояния, облака изменяют радиационный баланс, ветер перераспределяет кристаллы, а минеральная пыль может затемнять светлую поверхность. Любой из этих процессов способен ослабить предполагаемый эффект соли. Поэтому следующий этап — проверка механизма в более сложных моделях атмосферы и океана.

Тем не менее гипотеза показывает, насколько неожиданными могут быть климатические обратные связи. В истории Земли огромные изменения необязательно определялись одним грандиозным фактором. Иногда решающим становится сочетание нескольких процессов, каждый из которых усиливает

следующий.

Соль в этой истории особенно символична. Сегодня мы воспринимаем ее как обычный минерал и привычную составляющую океана. Но при необычных условиях даже она могла изменить способность целой планеты отражать солнечный свет. Если новая гипотеза выдержит дальнейшую проверку, к загадке «Земли-снежка» добавится еще один механизм: замерзающий океан мог становиться не просто белым, а все более отражающим по мере того, как холод буквально вытаскивал соль на поверхность.

Ссылка: «Усиленное охлаждение Земли-снежного шара вследствие обратной связи между солью и альбедо» DOI: [10.5194/cp-22-1499-2026](https://doi.org/10.5194/cp-22-1499-2026).