

## ОЛЕДЕНЕНИЕ ОСТРОВА БЕННЕТТА (ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ): ТАЯНИЕ УСКОРЯЕТСЯ

Острова Де Лонга, расположенные в Восточно-Сибирском море, в настоящее время являются наиболее восточным центром оледенения в российской высокоширотной Арктике (148–158° в. д.). Крупнейший остров архипелага, Беннетта, имеет площадь 155 км<sup>2</sup>, примерно треть которой занимают четыре ледниковых купола различного размера (рис. 1). Климатические условия в этом районе интересны для изучения современных изменений природной среды в Арктике, поскольку острова Де Лонга расположены вдали от «эпицентра» арктического усиления, находящегося в районе Карского и Баренцева морей. Иными словами, темпы потепления здесь несколько ниже относительно более западных российских архипелагов. Вместе с тем суровый арктический климат востока Сибири характеризуется также малым годовым количеством осадков, большая часть которых выпадает в короткий летний период. Это делает оледенение островов особенно чувствительным даже к относительно небольшим изменениям температурного режима.

восток) (рис. 1). Оценка выполнена геодезическим методом, то есть вычитанием разновременных цифровых моделей рельефа (ЦМР). В качестве исходных данных использованы безоблачные фрагменты ЦМР ArcticDEM с разрешением 2 м на пиксель. По нашим расчетам, за период с 2012 по 2022 год средняя высота поверхности куполов снизилась на  $6,27 \pm 0,12$  м, что с учетом плотности ледникового материала соответствует балансу массы  $-5,33 \pm 0,39$  м водного эквивалента (в. э.) (рис. 2).

Чтобы оценить, насколько серьезны нынешние потери льда, мы сопоставили их с колебаниями массы куполов в предыдущие десятилетия. Для этого была применена регрессионная модель, связывающая баланс массы с двумя климатическими величинами — температурой воздуха и осадками в холодное время года. Для калибровки модели были использованы все имеющиеся измерения, включая экспедиции 1987 и 1989 годов, для крупнейшего из куполов — купола Толля, на который приходится около 90 % площади оледенения острова Беннетта, и метео-

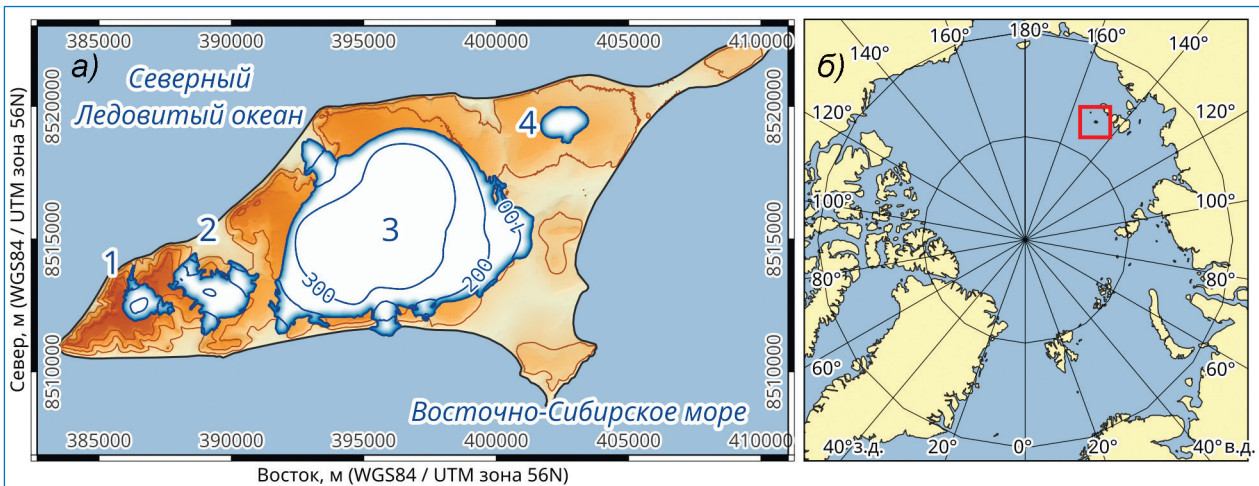


Рис. 1. Ледниковые купола острова Беннетта (а) и положение острова на карте Арктики (б): 1 — купол Де Лонга Западный, 2 — купол Де Лонга Восточный, 3 — купол Толля, 4 — купол Малый

Криосфера островов Де Лонга является одной из наименее изученных в России. Научные экспедиции, предпринятые к острову, известны наперечет, причем некоторые из них закончились трагически; а экспедиций, которые имели целью натурные измерения на ледниках острова, состоялось всего три, во второй половине XX века. Используя архивные материалы полевых исследований, в том числе не опубликованные ранее, а также новейшие данные дистанционного зондирования, мы получили оценки современного баланса массы ледников куполов острова Беннетта за период 2012–2022 годов и построили научно обоснованную реконструкцию динамики этого показателя за вторую половину XX века. Результаты были опубликованы в англоязычной статье “Revisiting the mass balance of Bennett Island glaciation” (Terekhov A.V., Prokhorova U.V., Verkulich S.R., Demidov V.E., Anisimov M.A., Griga S.A. Revisiting the mass balance of Bennett Island glaciation, East Siberian Sea // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2025. Vol. 57. № 1. P. 1–17).

Расчет современного баланса массы был проведен для всех четырех куполов острова Беннетта: Де Лонга Западного и Восточного, Толля, Малого (с запада на

данные реанализа ERA5-Land. Результат реконструкции неутешителен (рис. 3): если до середины 2000-х годов баланс массы купола Толля был околонулевым, с годовыми потерями массы, не превышающими  $-0,5$  м в. э., то с рубежа столетий баланс становится устойчиво отрицательным, причем со значимым трендом  $-0,13$  м в. э. за десятилетие (1991–2020,  $p < 0,01$ ). Всего же за период 1960–2025 годов купол Толля потерял 17,4 м в. э.

Выявленные потери массы сопоставимы с теми, что наблюдаются на более западных архипелагах Евразийской Арктики — Шпицбергене, Земле Франца-Иосифа и Новой Земле. Несмотря на то, что остров Беннетта расположен на удалении от центра полярного усиления, низкий платообразный рельеф (наивысшая точка острова — около 400 м) повышает чувствительность ледниковых куполов к изменениям климата. В то время как годовое количество осадков с середины XX века не изменилось, оставаясь очень низким — около 150 мм, для приземной температуры воздуха наблюдается значительный положительный тренд: число дней с положительной температурой увеличивается примерно на 7,6 суток за десятилетие ( $p = 0,05$ ; 1991–2020).

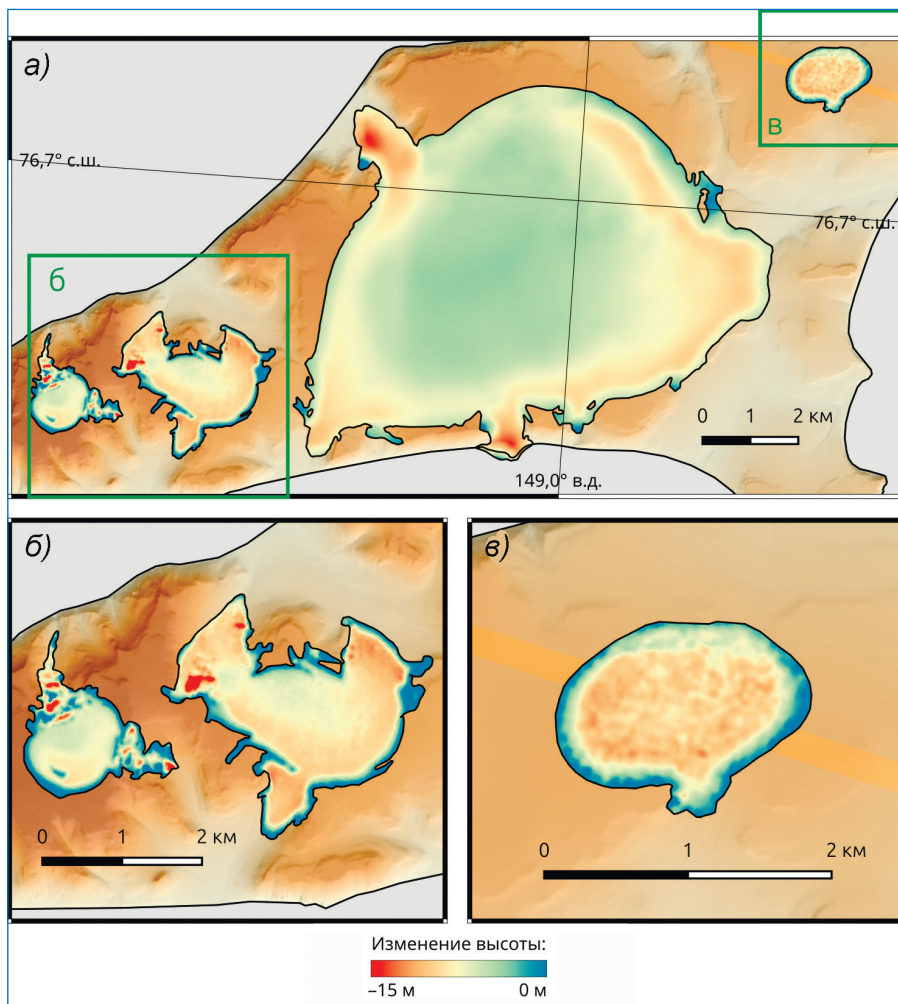


Рис. 2. Изменение высоты поверхности оледенения острова Беннетта за период 2012–2022 годов, рассчитанное по спутниковым данным: (а) все ледниковые купола, (б) купола Де Лонга Западный и Восточный, (в) купол Малый

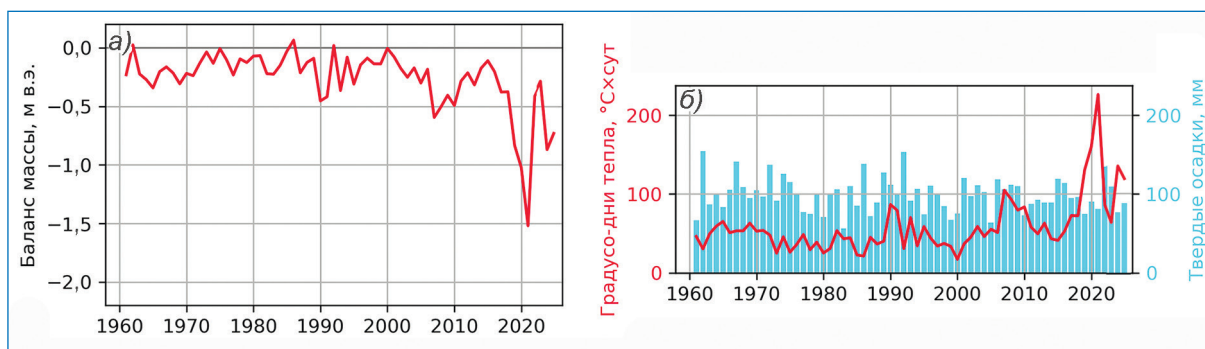


Рис. 3. Многолетние изменения (а) баланса массы купола Толля, реконструированного на основе натуральных измерений, дистанционных данных и (б) основных метеовеличин по реанализу ERA5-Land

В настоящее время невозможно спрогнозировать, за какое время ледниковые купола острова Беннетта могут исчезнуть полностью. Причина в том, что натурные измерения толщины льда с использованием георадаров или бурения никогда не проводились, а следовательно, неизвестны и запасы льда. Тем не менее приблизительные оценки этой величины удалось получить с помощью модели GlabTop2: для крупнейшего из куполов, Толля, средняя мощность льда составляет около 100 м, тогда как для остальных она не превышает 15–35 м. Эти оценки носят примерный характер, но поскольку купола острова Беннетта оказались в современных климатических условиях «нежизнеспособными», то рано или поздно они растают — даже и без продолжения тренда на потепление.

Примечательно, что возможное исчезновение ледников на островах Де Лонга отодвигает будущую вос-

точную границу ареала высокоширотного оледенения в Евразийском секторе примерно на 1000 км (или 50 градусов долготы) западнее, до архипелага Северная Земля. Поэтому острова Де Лонга остаются интересным и перспективным для изучения объектом на северо-востоке России.

*Результаты получены в рамках темы 5.1 Плана НИТР Росгидромета на 2025–2029 гг. «Развитие моделей, методов и технологий мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы, океана, морского ледяного покрова, ледников и вечной мерзлоты (криосферы), процессов взаимодействия льда с природными объектами и инженерными сооружениями для Арктики и технологий гидрометеорологического обеспечения потребителей».*

*А.В. Терехов, А.А. Фыгина (АНИИ)*