

# Ледники и ледниковые покровы

УДК 551.324.24

doi:10.15356/2076-6734-2017-2-149-169

## Динамика массы льда в Антарктиде в эпоху потепления

© 2017 г. В.М. Котляков\*, А.Ф. Глазовский, М.Ю. Москалевский

Институт географии РАН, Москва, Россия

\*vladkot6@gmail.com

## Dynamics of the ice mass in Antarctica in the time of warming

V.M. Kotlyakov\*, A.F. Glazovsky, M.Yu. Moskalevsky

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\*vladkot6@gmail.com

Received February 18, 2017

Accepted March 15, 2017

Keywords: *Antarctica, drainage basins, glacier mass balance, global warming, growth of ice mass, ice sheet, sea level.*

### Summary

The modern age of global warming affect the general state of the Antarctic ice sheet and its mass balance. Studies of the Southern polar region of the Earth during the International Geophysical Year (1957–1958) called the assumption of growth in the modern ice mass in East Antarctica. However, with the development of new methods, this conclusion has been questioned. At the turn of the century the study of global processes Earth started to use the satellite radar or laser altimetry and satellite gravimetry, which allows determining change of different masses on the Earth, including ice bodies. From the beginning of the XXI century, these methods have been used to calculate the continental ice balance. In our study, we analyze different data of recent years, supporting the earlier conclusion on continued growth of the ice mass in East Antarctica. However, in West Antarctica and the Antarctic Peninsula, on the contrary, there is increased loss of ice, leveling the increased income of ice mass of in the Central Antarctica. So all in all in the modern era of global warming, the ice mass in Antarctica appears to be decreasing despite some growth of the East Antarctic ice sheet. Fluctuations of land ice mass reflect in the sea level variations, but in comparison with the scale of the Antarctic ice sheet its contribution to sea-level rise is not so significant. The main reason for this is that the mass accumulation in East Antarctica with significant probability prevails over the ice outflow.

**Citation:** Kotlyakov V.M., Glazovsky A.F., Moskalevsky M.Yu. Dynamics of the ice mass in Antarctica in the time of warming. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2017. 57 (2): 149–169. [In Russian]. doi:10.15356/2076-6734-2017-2-149-169.

Поступила 18 февраля 2017 г.

Принята к печати 15 марта 2017 г.

**Ключевые слова:** *Антарктида, баланс массы ледника, ледниковый щит, ледосборные бассейны, потепление, увеличение массы льда, уровень моря.*

Анализируются исследования XX в., а также материалы последних лет, включая спутниковую альтиметрию (радарную и лазерную) и спутниковую гравиметрию, с помощью которых определяют изменение массы льда. Подтверждаются заключения гляциологов о продолжающемся росте массы льда в Восточной Антарктиде. Однако в Западной Антарктиде и на Антарктическом полуострове, наоборот, таяние льда усилилось, поэтому в целом в современную эпоху глобального потепления масса льда в Антарктиде, по-видимому, убывает, несмотря на некоторый рост Восточно-антарктического ледникового покрова.

### Введение

Через несколько лет, в 2020 г., весь мир будет отмечать 200-летие величайшего географического открытия – появления на географических картах шестого, Антарктического материка. В январе 1820 г. Русская кругосветная экспедиция под руководством Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева впервые увидела берег шестого континента. Это было важней-

шим географическим открытием. В январе 1820 г. Русская кругосветная экспедиция под руководством Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева впервые увидела берег шестого континента. Это было важней-

шее географическое событие, последовавшее после заявления полувековой давности, сделанного великим английским мореплавателем Джеймсом Куком, о том, что люди вряд ли когда-либо смогут пробиться на юг и увидеть то, что скрывает Южный океан. Однако Русская экспедиция в поисках Южно-полярного материка прошла южнее полярного круга, и 28 января (по новому стилю) 1820 г., когда корабли находились в  $69^{\circ}21'$  ю.ш. и  $2^{\circ}15'$  в.д., моряки увидели большие бугристые ледяные поля, которые отличались от всех виденных до сих пор. Позднейшие исследования показали, что шлюпы «Восток» и «Мирный» находились всего в нескольких километрах от берега Антарктиды. С тех пор гипотетический Антарктический материк занял своё место на географических картах, а вскоре стало понятно, что почти весь он покрыт гигантским ледниковым щитом, который существует в Антарктиде уже много миллионов лет и, в отличие от Североамериканского и Европейского ледниковых покровов, за это время никогда полностью не исчезал с поверхности Антарктического материка.

Начиная с открытия Антарктиды русской экспедицией интерес к состоянию Антарктического ледникового покрова не ослабевал. В дальнейшем экспедиции Уэдделла (1822–1823 гг.), Дюмон-д'Юрвиля (1838–1840 гг.), Уилкса (1840 г.), Росса (1841 г.), Джерлаха (1898 г.), Норденшельда и Ларсена (1902 г.), Дригальского (1902 г.), Скотта (1902 и 1912 гг.), Ширазе (1911 г.), Моусона (1912 г.), Шеклтона (1908 г.), Фильхнера (1912 г.), Амундсена (1912 г.), Бёрда (1928–1941 гг.), Уилкинса (1928 г.), Элсуэрта (1933–1939 гг.) получили важные данные о положении краевых частей ледникового покрова и определили границы некоторых ледоразделов.

Масса антарктического льда как в прибрежной части, так и внутри континента не остаётся неизменной и существенно зависит от колебаний климата. Для современной эпохи характерно глобальное потепление, которое, естественно, воздействует и на состояние Антарктического ледникового покрова. Учитывая планетарную роль Антарктического ледника, попробуем оценить стабильность его состояния и возможное воздействие на уровень Мирового океана.

### **Первые сведения об увеличении массы Антарктического ледникового покрова**

Интенсивные исследования в Антарктиде начались в конце 1940-х — начале 1950-х годов. В то время и Советский Союз начал обширные антарктические работы. Уже первые три года (1956–1958 гг.) активных советских антарктических исследований принесли новые важные сведения о режиме Антарктического ледникового покрова, и стало складываться мнение о превышении аккумуляции снега на Антарктическом ледниковом щите над его расходом [1–4]. На это указывало сравнение данных об аккумуляции снега на всём пространстве Антарктического материка и весьма редкие сведения о его расходе в краевой части ледникового покрова. Конечно, эти данные были отрывочны, но собранные вместе они убедительно показывали превышение прихода снега над расходом льда в Антарктиде. Это чётко видно на первой карте аккумуляции снега на всей площади Антарктического ледника, составленной в 1961 г. В.М. Котляковым [5].

Ещё по наблюдениям во время Международного геофизического года (1957/58 г.) отмечен рост количества выпадающих осадков и температуры на субантарктических островах. Так, на станции Литл-Америка среднегодовая температура с 1911 по 1957 г. выросла на три градуса — с  $-27,2$  до  $-24,2$  °С. Таким образом, потепление XX в., отмеченное в Арктике, наблюдается и в Антарктике. Повышение температуры приводит к усилению циркуляции атмосферы и росту количества выпадающих осадков. Эту особенность отмечал ещё Джеймс Скотт во время своего похода к Южному полюсу. В результате усиления меридионального обмена воздушных масс на материк поступает более тёплый, а следовательно, и более влажный воздух. Однако повышение температуры на несколько градусов не вызывает таяние снега внутри материка, так как морозы здесь не прекращаются, в то время как увеличение количества влаги приводит к более обильным снегопадам. Усиление питания антарктического ледника твёрдыми атмосферными осадками в периоды потепления связано также с повышенной влажностью воздуха — рост температуры приводит к повышению упругости (парциального давления) насыщенного водяного пара. Следовательно, вместе с глобальным

потеплением усиливается атмосферная циркуляция в Антарктике, увеличивается питание ледникового покрова и оледенение Антарктиды растёт. Этот процесс и наблюдается в виде роста аккумуляции снега в Антарктиде. В то же время расход массы, связанный главным образом с движением льда к морю и откалыванием айсбергов, также, по-видимому, растёт с повышением глобальной температуры, но в гораздо меньшей степени и с известным запаздыванием. Таким образом, можно предполагать увеличение массы льда в Антарктиде на протяжении всего XX в., что имеет свои глобальные последствия и требует более убедительных подтверждений.

### Изменения баланса массы Антарктического ледникового покрова за 50 лет

В настоящее время Антарктический ледниковый покров занимает площадь 13,924 млн км<sup>2</sup> и содержит 26,92 млн км<sup>3</sup> льда. Площадь покрова без шельфовых ледников составляет 12,295 млн км<sup>2</sup>, а общий объём льда в этом случае равен 26,54 млн км<sup>3</sup> [6]. Эти цифры сопоставимы лишь с обширными ледниковыми покровами прошлого. Весь ледниковый покров можно разделить на несколько ледосборных бассейнов, в пределах которых, правда с разной точностью, можно подсчитать поверхностный баланс массы и сравнить его с расходом льда через береговую линию.

В конце первого десятилетия XXI в. мы собрали значительный объём информации из разных источников в границах ледосборных бассейнов и основных каналов стока в Западной и Восточной Антарктиде, чтобы понять, как изменился суммарный баланс массы ледникового покрова за последние 50 лет, по крайней мере в Восточной Антарктиде. Эти данные разновременные и крайне неравномерно покрывают площадь Антарктического ледникового покрова. Кроме того, до настоящего времени нет надёжных оценок жидкого подледникового стока, хотя таяние на ложе ледника существует. В конце XX в. в Восточной Антарктиде выделяли 13 крупных ледосборных бассейнов (рис. 1, б): восточная часть бассейна Уэдделла (15; см. номера на рис. 1, б); Станкомб-Уилс (16); Ютулстрёумен (17); Ширазе (1); Райнера (2); Ламберта (3); Денмена и Скотта (4); Тоттена (5); Пауэра и Фроста (6); Мерца и

Нинниса (7); Земли Виктории (8); Маллока (9); Бёрда (10). В Западной Антарктиде – четыре ледосборных бассейна: Пайн-Айленда (13); Гуэйтса (12); Росса (11); западная часть бассейна Уэдделла (14). Мы исследовали только те ледосборные бассейны Антарктиды, для которых имелась надёжная информация по аккумуляции и стоку материкового льда. Общая площадь исследованных нами бассейнов составила 7435,7 тыс. км<sup>2</sup> при площади наземного оледенения Антарктиды 13 924 тыс. км<sup>2</sup> [7, 8]. Основные материалы получены на базе космической информации. Для оценки стока материкового льда использовано положение линии налегания, т.е. того замыкающего створа, через который массы льда поступают из ледосборных бассейнов в океан по основным каналам стока – выводным ледникам и ледниковым потокам.

Первые массовые инструментальные измерения скоростей течения льда в краевых частях выводных ледников выполнены в период МГГ с помощью повторных наземных геодезических измерений и уточнены по аэрофотоснимкам, а дальнейшие – по космическим снимкам оптического диапазона. В конце XX в. стали применять новые радарные технологии. Успешное аэрадиозондирование значительной части Восточной Антарктиды позволило получить достоверные значения толщины льда и использовать их при оценках материкового стока в районе линии налегания для каналов стока отдельных ледосборных бассейнов [9]. Наконец, оценки скоростей течения льда выводных ледников в районе линии налегания получены на основе данных спутниковой геодезии и обработки амплитудных и интерферометрических составляющих космических радарных изображений. На основе всей суммы данных по толщине и скоростям движения материкового льда в районе линии налегания мы оценили сток материкового льда Антарктиды во второй половине XX в. (табл. 1). Эти оценки не противоречат имеющимся данным по большинству бассейнов для 1960–70-х годов. Из табл. 1 видно, что во всех исследованных бассейнах сток льда в 1990-х годах вырос на 15–30% по сравнению с 1960–70-ми годами.

Первая карта аккумуляция снега в Антарктиде составлена по результатам работ МГГ [5], и на ней ещё нет границ основных ледосборных бассейнов. Спустя 20 с лишним лет построена карта