

ДИНАМИКА КРУПНЫХ АЙСБЕРГОВ И МОРСКОГО ЛЬДА В РАЙОНЕ ЛЕДНИКА ФИМБУЛ

В.И. Сычёв

Российский государственный гидрометеорологический университет, vsychev@rshu.ru

Проведен краткий анализ динамики айсбергов и состояния материкового льда в районе большого шельфового ледника Фимбул у побережья Антарктиды по спутниковым данным. Представлены примеры использования данных спутников серии Landsat, Sentinel, Aqua, Terra/MODIS с пространственным разрешением от 1 км до 10 м. Проведен анализ дрейфа айсбергов и приведено описание состояния кромки шельфовых ледников в районе, где во время экспедиции Ф.Ф. Беллинсгаузена — М.П. Лазарева 28 января 1820 г. суда впервые приблизились к ледовому материку. Данный район служит транзитным участком для айсбергов, движущихся с востока на запад по южной периферии антарктических циклонов. По многочисленным свидетельствам и спутниковым данным в течение второй половины XX века северная кромка ледника Фимбул в летнее время не претерпевала значительных изменений. Ее положение в XIX — XX веках могло смещаться только севернее, поэтому суда первооткрывателей Южного континента по данным их местоположения находились в пределах видимости шельфового ледника.

Ключевые слова: динамика айсбергов, Фимбул, шельфовый ледник, Антарктида, спутниковые данные, пространственное разрешение, Ф.Ф. Беллинсгаузен, М.П. Лазарев.

DYNAMICS OF LARGE ICEBERGS AND SEA ICE IN THE AREA OF THE GLACIER FIMBUL

V.I. Sychev

Russian State Hydrometeorological University

An analysis of the dynamics of icebergs in the area of Fimbul ice shelf off the coast of Antarctica is realized. Examples of the use of satellites data of Landsat, Sentinel, Aqua, Terra/MODIS with a spatial resolution from 1 km to 10 m are demonstrated. The drift of icebergs, and the state of the edges of ice shelves were shown in area, where during expedition ships of F. Bellingshausen and M. Lazarev first had approached to the Ice continent on the 28 January 1820.

This area serves as a transit area for icebergs moving from east to west along the southern periphery of the zone of the Antarctic cyclones. According to numerous testimonies and satellite data during the second half of the 20th century the northern edge of the Fimbul glacier did not undergo any significant changes in the summer. Its position in the 19th and 20th centuries could shift only to the north. So the ships of the Russian explorers of the southern continent according to their location in 1820 were within sight of the ice shelf.

Keywords: dynamics of icebergs, Fimbul, ice shelf, Antarctica, satellites data, spatial resolution, F. Bellingshausen, M. Lazarev.

Введение

Документальные свидетельства исторического плавания Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева к Южному материку в 1819—1821 гг. содержат ценную информацию о морском ледяном покрове и айсбергах Антарктики. Анализ материалов экспедиции показал, что шлюпы «Восток» и «Мирный» находились у ледового

материка в один из благоприятных климатических периодов, что позволило судам несколько раз приблизиться к нему в районе шельфового ледника, получившего в 20-е годы XX века название Фимбул — Фимбулсен (гигантский лед), длина которого составляла приблизительно 200 км, а ширина — 100 км [5].

Донесение о ходе экспедиции и описание плавания в Южном океане, датированное 28 (16) января, в день, который считается датой открытия Антарктиды, Ф.Ф. Беллинсгаузен отправил по прибытию в порт Жаксон (Сидней) 20 (8) апреля 1820 г. В Петербурге его прочли спустя год — 10 апреля 1821 г.: *«16 января проникнул отряд до широты S 69°25' в долготе 2°10'W, где встретил сплошной лед, а далее к югу ледяные горы и продолжал покушения далее в разных направлениях до 5 марта»*. Из рапорта не сделали секрета: морской министр маркиз де Траверсе немедленно отправил его наиболее интересную часть в журнал «Сын Отечества» за 1821 г. [1]. Таким образом, появилось первое сообщение об открытии россиянами.

Во время экспедиции были сделаны и другие многочисленные открытия, в том числе были открыты остров Петра I и Земля Александра I у Антарктического материка. По своим условиям (100 дней во льдах и 122 дня южнее параллели 60° ю.ш.) плавание оставалось непревзойденным более 100 лет.

В опубликованной в 1831 г. книге Ф.Ф. Беллинсгаузен описывал плавание 28 января: *«Продолжая путь на юг, в полдень в широте 69°21'28", долготе 2°14'50", мы встретили льды, которые представились нам сквозь шедший тогда снег в виде белых облаков. Ветер был от NO умеренный, при большой зыби от NW; по причине снега зрение наше не далеко простиралось; я привел в бейдевинд на SO, и, пройдя сим направлением две мили, мы увидели, что сплошные льды простираются от востока чрез юг на запад; путь наш вел прямо в сие ледяное поле, усеянное буграми»* [2]. Здесь командир экспедиции не указал координаты более южного местоположения шлюпа «Восток» (примерно 69°23' ю.ш., 2°11' з.д.), откуда он увидел *«ледяное поле, усеянное буграми»* [5].

Приведенные координаты местоположения судов в этот день различаются незначительно; по их значениям и описаниям можно определить состояние морских и континентальных льдов в начале XIX века в Атлантическом секторе. Участниками российской экспедиции были приведены точные координаты местоположения судов у ледового материка, которые уже через год были опубликованы, а в 1824 г. появились карты с именами россиян за Южным полярным кругом. Тем не менее в Великобритании и США пытаются оспорить приоритет Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева, первыми увидевшими Южный материк. Вместе с тем оценки, сделанные на основе описаний, представленных участниками экспедиции, позволяют еще раз определить расстояние до кромки материковых льдов, которое в настоящее время оценивается значениями от 40 до 57 км.

Продолжая плавание, Ф.Ф. Беллинсгаузен писал, что 21 января 1820 г. при второй попытке приблизиться к ледовому матерiku, находясь в точке с координатами 69°25' ю.ш. и 1°11' з.д., он видел ледяное поле, *«которое, казалось, было покрыто небольшими буграми»*. Известно, что в 1948 г. в этих координатах побывала китобойная флотилия «Слава». Сохранилось детальное описание кромки материкового льда, которую было видно при хороших погодных условиях, а морской лед отсутствовал севернее 70,5° ю.ш. В те дни, когда суда экспедиции

предпринимали первые попытки приблизиться к материку, Ф.Ф. Беллинсгаузен и другие участники плавания не могли не увидеть ледовый континент. Позднее в том же году примерно в 2000 км от них Натаниэль Браун Палмер и Эдвард Брансфилд утверждали, что видели береговую линию и побережье материка. Э. Брансфилд и В. Смит с английского «Вильямса» увидели 30 января очертания самой северной части континента, позже названной Антарктическим полуостровом.

Отметим, что после плавания Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева кромка шельфовых льдов претерпевала существенные изменения, однако значительный свал глубин севернее ледника на Земле Королевы Мод определял ее крайнее южное положение, которое не могло серьезно различаться за истекший период, южнее $69^{\circ}30'$ — $69^{\circ}40'$ ю.ш. на меридиане 1° з.д. Айсберги, образующиеся у ледника Фимбул, определяли его северную границу примерно по этой широте. На рис. 1 приведена отредактированная копия карты Южно-Африканской национальной антарктической экспедиции 1960—1969 гг., которая хранится в крупнейшей в мире библиотеке в области исследования Антарктики Института полярных исследований имени Скотта Кембриджского университета Великобритании.

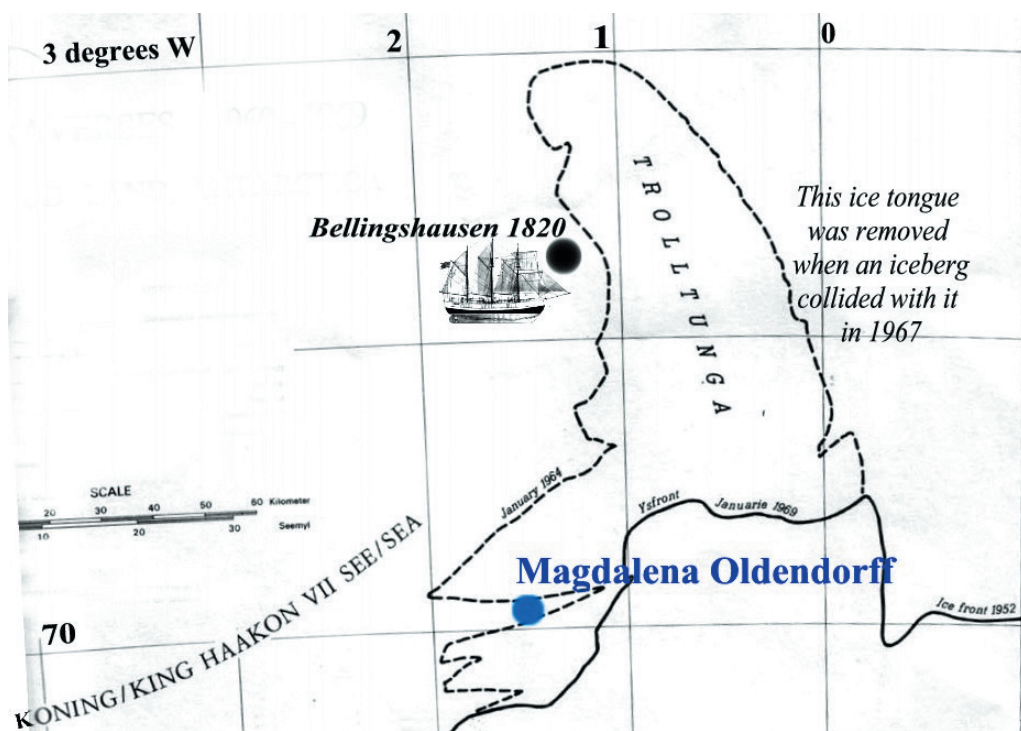


Рис. 1. Карта, составленная по данным Южно-Африканской национальной антарктической экспедиции 1960—1969 гг.

Приведена граница ледника Фимбул в 1963 г. (сплошная кривая) и в 1997 г. (штриховая кривая), после того как от него в 1967 г. откололся крупный айсберг.

На карте приведено примерное положение в 1963 г. северной кромки ледника Фимбул, от которого в 1967 г. откололся крупный айсберг. С тех пор, в том числе по спутниковым данным, положение северной границы ледника Фимбул в летнее время не претерпевало значительных изменений. Остается предположить, что в течение XIX — XX веков граница могла смещаться только севернее, и, следовательно, первооткрыватели Южного континента с большой долей уверенности находились у кромки материкового ледника в пределах его видимости.

Опираясь на многозональные данные дистанционного спутникового зондирования, оказалось возможным описать современное состояние кромки шельфовых ледников и динамики айсбергов в районе, где суда экспедиции Ф.Ф. Беллинсгаузена — М.П. Лазарева 28 января 1820 г. впервые приблизились к ледовому материку (рис. 2). Для этого по спутниковым данным проведен краткий

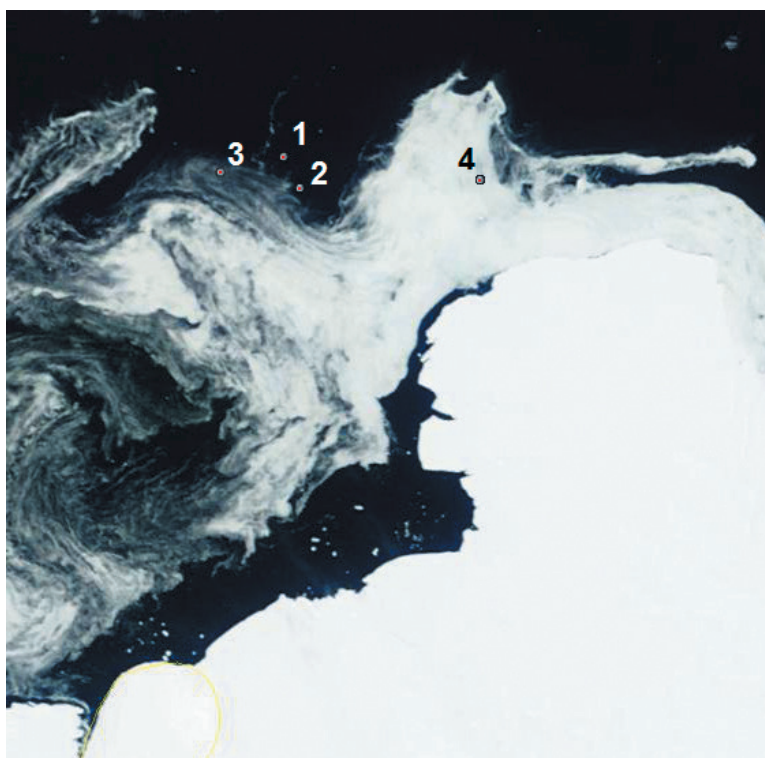


Рис. 2. Изображение Aqua/MODIS за 17 января 2018 г. Указано положение судов экспедиции 16 (28) января и 21 января (2 февраля) 1820 г., когда Ф.Ф. Беллинсгаузен и М.П. Лазарев впервые приблизились к Южному материку (участок современного ледника Фимбул).

- 1) «... в полдень в широте $69^{\circ}21'28''$, долготе $2^{\circ}14'50''$ »;
- 2) «... 16 января проникнул отряд до широты $S 69^{\circ}25'$ в долготу $2^{\circ}10' W$ »;
- 3) «... 16 января достигли мы широты $69^{\circ}23' S$, ... в долготу $2^{\circ}35' W$ ».
- 4) ... 21 января 1820 г. в точке с координатами $69^{\circ}25'$ ю.ш. и $1^{\circ}11'$ з.д. Ф.Ф. Беллинсгаузен видел ледяное поле, «которое, казалось, было покрыто небольшими буграми».

анализ дрейфа айсбергов и состояния материкового льда в районе шельфового ледника Фимбул.

Для исследования использовались данные спутников серии Landsat, Sentinel-1, -2, Aqua, Terra/MODIS [12] с пространственным разрешением от 1 км до 10 м. Оценка крупномасштабных элементов состояния ледяного покрова производилась по информации микроволновых радиометров SMMR, SSM/I, AMSR-E и AMSR-2 [6].

Первые примеры использования спутниковой информации о ледовой обстановке для вывода судов из тяжелых льдов Антарктики

Спутниковые изображения в микроволновом и видимом диапазонах, имеющиеся за период с 1979 г., свидетельствуют о том, что морские льды (и айсберги) в этом районе до настоящего времени представляют серьезное препятствие даже для плавания современных морских судов. В условиях полярной ночи данные в видимом диапазоне отсутствуют. Поэтому для контроля за ледовой обстановкой необходима информация, полученная, например, с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА). Данные спутника ENVISAT Европейского космического агентства (ЕКА), использовались в конце июля 2002 г. (рис. 3), когда аргентинский ледокол «Альмиранте Эризар» пытался вывести немецкое судно «Магдалена Олдендорф» из тяжелых льдов. В июне 2002 г. судно «Магдалена Олдендорф» возвращалось с антарктической станции Новолазаревская, когда льды преградили ему путь и появилась угроза ледового плена. С 27 июня по 1 июля два вертолета с южноафриканского судна «Агулхаз» эвакуировали с затертого льдами судна 79 российских ученых и 28 членов экипажа.

Следует отметить, что в это время в районе, где находились суда, дрейфовал крупный айсберг d-17 длиной около 60 км и шириной более 10 км, который в конце мая откололся от шельфового ледника Лазарева в районе 16° в.д. Но к 22 июля он уже не представлял угрозы для судов, находясь на меридиане 5° з.д.

Пришедший на помощь «Магдалене Олдендорф» ледокол в течение 10 дней пытался вывести суда из льдов (рис. 3 б), но попытки не увенчались успехом из-за тяжелых ледовых условий. При температуре -32°C и быстром образовании и нарастании льда ледокол также оказался в плену. Судно «Магдалена Олдендорф» с командой из 17 человек было переведено на якорную стоянку в заливе Маскегбукта и снабжено достаточным количеством припасов на случай зимовки. Когда ледокол запросил информацию о ледовой обстановке, служба обработки ЕКА смогла обеспечить прием данных для района плавания в удаленном районе Антарктики, где не было станций приема спутниковой информации. Полученные 31 июля 2002 г. данные ASAR спутника ENVISAT позволили выделить области тонкого однолетнего льда и вывести ледокол на чистую воду. На рис. 3 а показана область ледника Ютулстраумен (шириной около 100 км) и положение судов во время съемки (судно «Магдалена Олдендорф» находилось в бухте Маскегбукта). Толстый морской лед с отчетливой текстурой на сером фоне отличается от яркого шельфового ледника и айсбергов. Эти области разделены узкой полосой более

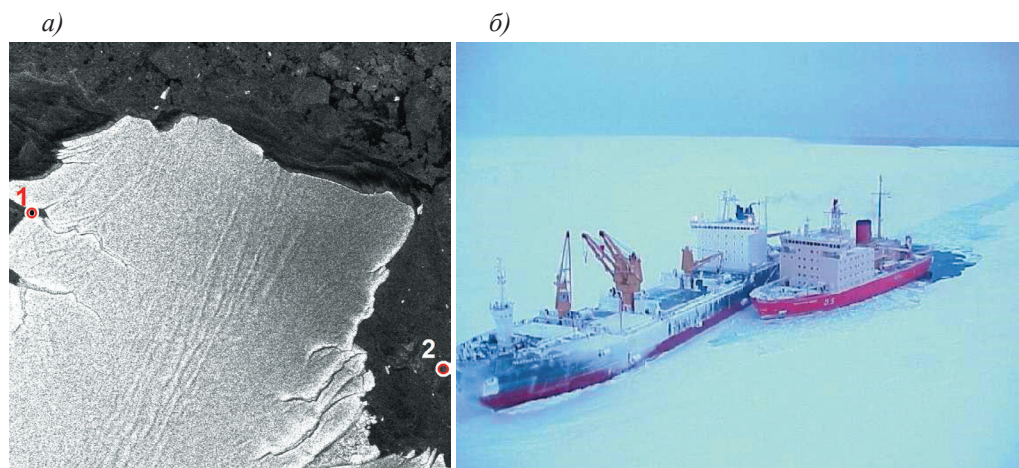


Рис. 3. Снимок Envisat ASAR (а): положение судна «Магдалена Олдендорф» (1) в бухте Маскегбукта ($69^{\circ}56'$ ю.ш., $1^{\circ}26'$ з.д.) и ледокола «Альмиранте Эрizar» при выходе из тяжелых льдов (2) на участке ледника Фимбул 31 июля 2002 г., а также фотография судов, сделанная 19 июля 2002 г. (б).

чистой воды, по которой ледокол имел возможность пройти на восток. Достаточно большое число айсбергов на акватории имеют вид ярких пятен на темном фоне (см. рис 3 а).

В течение зимы 2002 г. судно «Магдалена Олдендорф» оставалось в ледовом плену. В октябре на судне получили информацию о ледовых условиях, но только в декабре ему удалось освободиться и прийти в Кейптаун.

Положение кромки шельфовых льдов и динамика айсбергов в районе ледника Фимбул

По данным Национального института полярных исследований в Токио [6], в 2016 и 2017 гг. происходило существенное уменьшение площади морских льдов в Мировом океане (рис. 4), причем синхронно и в Антарктике, и в Арктике. В результате была отмечена минимальная площадь ледяного покрова Мирового океана в летний период для Северного и Южного полушария [4]. В 2018 г. площадь ледяного покрова летом несколько увеличилась, но ее значение оставалось одним из наименьших за период наблюдений. Снимки Aqua, Terra/MODIS, Landsat-8 Oli и Sentinel-1b участка ледника Фимбул в январе — феврале 1990, 2000 и 2017 гг. (рис. 5), несмотря на значительное уменьшение ледовитости в настоящее время, свидетельствуют, тем не менее, о суровых условиях плавания в полярных районах.

Что касается числа айсбергов, то оно продолжает возрастать в наибольшей степени в Атлантическом секторе [10]. Подробные данные о межгодовой изменчивости антарктических айсбергов за период 1978—2005 гг. по данным Национального ледового центра США приводятся в работе [3]. Показано, что за указанный

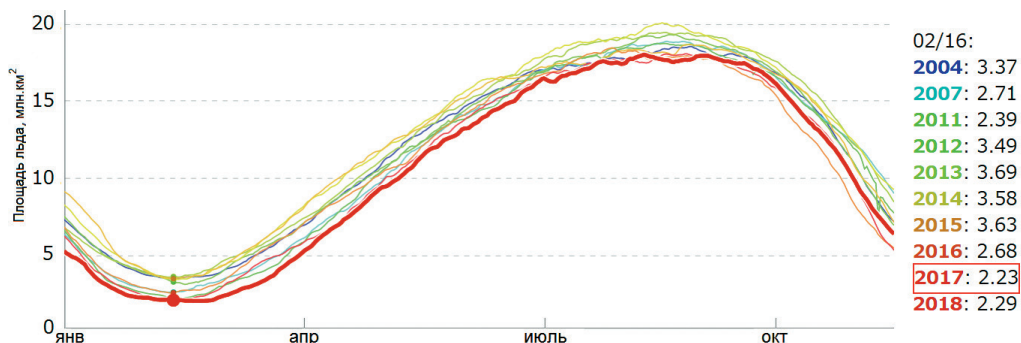


Рис. 4. Годовой ход площади морских льдов Антарктики (млн км²) за 2004—2018 гг.

период число айсбергов увеличилось примерно в пять раз, т.е. скорость увеличения числа айсбергов составила 1,7 в год.

На рис. 5 показано изменение конфигурации прибрежного участка ледника Фимбул с 1990 г. по конец января 2017 г. по данным Landsat-4 TM [8], Envisat ASAR [9] и Aqua/MODIS. Район Земли Королевы Мод и ледника Фимбул не отличается большим числом образовавшихся крупных айсбергов, являясь, главным образом, транзитным участком для айсбергов, движущихся с востока на запад по южной периферии области антарктических циклонов. На рис. 6 *a* показаны траектории обломков крупных айсбергов b15 и b17a под номерами b15g, b15x, b15aa и b17a [11]. Следует учесть, что осадка таких айсбергов достаточно велика, и они, сев на мель, могут несколько лет оставаться неподвижными. Айсберги с меньшей осадкой дрейфовали далее на запад, нередко вступая в контакт с сидящими на мели айсбергами и часто получая повреждения и разрушая их. Поэтому для подробного анализа важно иметь информацию о батиметрии рассматриваемой области (рис. 6 *a*).

Национальный ледовый центр США присвоил названия трем новым айсбергам после того, как айсберг b15t в начале сентября 2014 г. разбился на четыре

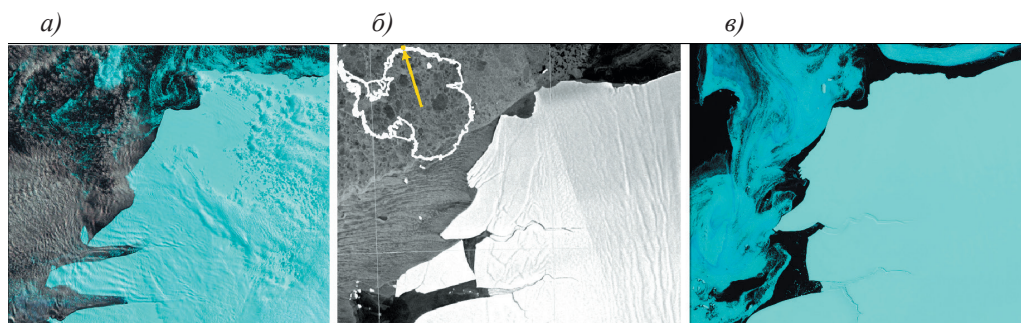


Рис. 5. Участок ледника Фимбул по данным Landsat-4 TM за 10 февраля 1990 г. (*a*), Envisat ASAR за 2000 г. (*б*) и Aqua/MODIS за 30 января 2017 г. (*в*).

части. Самый крупный айсберг сохранил прежнее название, в то время как новые айсберги длиной более 10 морских миль получили собственные обозначения: b15z, b15aa и b15ab. Айсберг b15t является крупнейшим сохранившимся остатком самого большого из когда-либо зарегистрированных айсбергов b15, образовавшегося у шельфового ледника в море Росса в марте 2000 г., площадь которого, когда он отделился от Антарктиды, была немногим меньше площади Финского залива. Около 20 лет многочисленные обломки айсберга b15, покинув море Росса, перемещались на запад вокруг Антарктиды, добираясь в море Уэдделла до

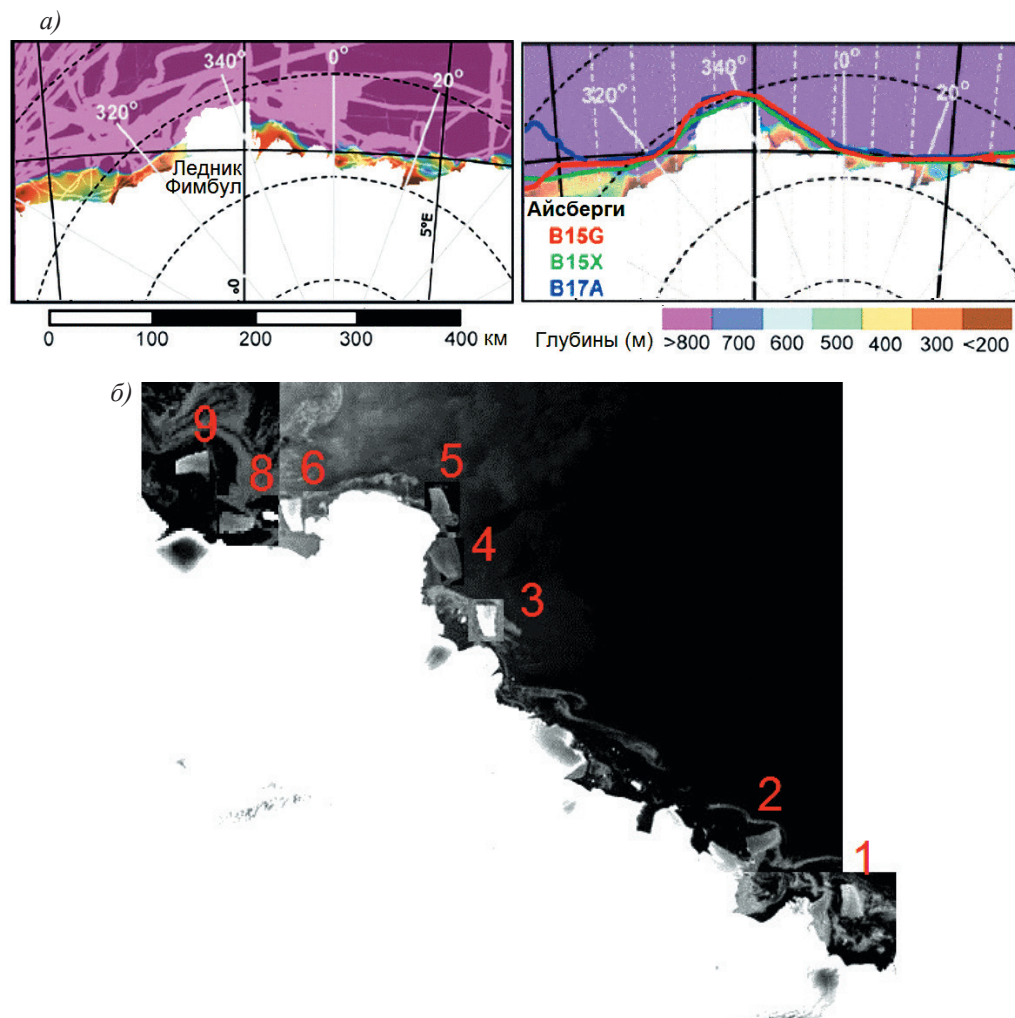


Рис. 6. Участок ледника Фимбул.

a) батиметрическая карта и схема дрейфа айсбергов b15g, b15x и b17a; б) схема перемещения айсберга b15aa по данным РСА спутников Sentinel-1a, -1b 12 февраля — 18 марта 2017 г.

Антарктического полуострова. Некоторые из небольших айсбергов разрушались, другие дрейфовали на север и таяли, а некоторые все еще находятся под контролем ввиду их опасности для мореплавания.

Данные РСА спутников Sentinel-1a, -1b [7] позволили проследить движение айсберга b15aa к концу февраля 2017 г. (рис. 6 б), когда он достиг кромки ледника Фимбул. В начале марта айсберг навалился на спускающуюся в воду его часть севернее залива Маскегбукта, того самого, где укрывалась «Магдалена Олдендорф» в 2002 г. Это привело к образованию нового айсберга (рис. 7), что существенно изменило конфигурацию характерной части Антарктиды на Гринвичском меридиане южнее 70° ю.ш., которая оставалась неизменной около 20 лет.

Новый айсберг площадью около 40 км^2 дрейфовал вслед за более крупным айсбергом b15aa, который, оказавшись на мелководье, переместился в течение восьми суток только на 31 км (см. рис. 7). С 9 по 12 марта, оказавшись в струе мощного западного течения, новообразованный айсберг переместился на расстояние более 70 км со скоростью около 24 км/сут. В следующие четыре дня

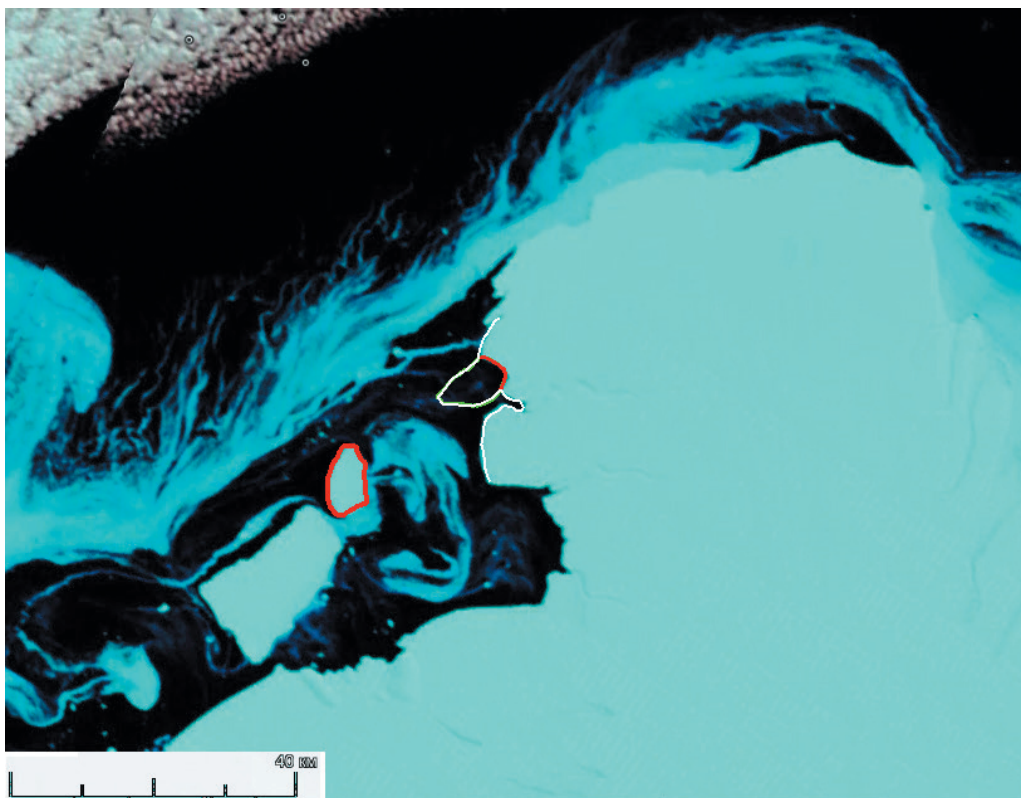


Рис. 7. Участок современного ледника Фимбул по данным Aqua/MODIS.

Белой кривой указано положение новообразованного айсберга 1-го и красной — 9-го марта 2017 г.

айсберг оказался у кромки шельфовых льдов на мелководье, двигаясь со скоростью 7,2 км/сут. В итоге к 3 апреля, за 33 суток, айсберг переместился на 267 км, двигаясь со средней скоростью 8,2 км/сут. Айсберг b15aa за это время прошел 330 км со средней скоростью 10 км/сут.

По спутниковым данным, средняя высота его надводной части составляла около 40—50 м, что соответствовало толщине подводной части порядка 250—300 м.

При наличии ортогональных трещин в леднике Фимбул форма и размер многочисленных айсбергов на его ледяном фронте предопределены расстоянием между трещинами и направлением разломов. Данные дистанционного зондирования свидетельствуют об образовании в таких случаях айсбергов трапецевидной или треугольной формы.

Выводы

Приведенные примеры показывают, что айсберги, образовывавшиеся в районе Земли Королевы Мод и у шельфового ледника Фимбул, определяли северную границу последнего примерно по параллели 69°30' ю.ш. на меридиане 1° з.д. По многочисленным свидетельствам и по спутниковым данным во второй половине XX века положение северной кромки ледника Фимбул в летнее время не претерпевало значительных изменений. Высказано предположение о том, что в течение XIX — XX веков граница могла смещаться только севернее, поэтому суда первооткрывателей Южного континента в соответствии с данными об их местоположении [1, 2, 5] находились в пределах видимости шельфового ледника.

Этот район характеризуется незначительным числом образовавшихся крупных айсбергов, являясь транзитным участком для айсбергов, движущихся с востока на запад по южной периферии антарктических циклонов. Интенсивное западное течение и восточные ветры могут увлекать айсберги со средней скоростью около 5 км/сут. Если же, миновав побережье Фимбула, айсберги перемещаются по более мористым траекториям, то их скорость возрастает до 10—15 км/сут. Стационарные местоположения айсбергов сосредоточены на мелководье (с глубиной менее 500 м) и на фронте шельфовых ледников (например, у меридиана 6° в.д.). В некоторых случаях дрейф айсбергов замедлялся и в глубоководных (глубина более 1000 м) районах, что могло быть связано с наличием вихревых образований или с присутствием сплоченного морского льда — на спутниковых снимках это иллюстрируется вращением айсбергов.

Список литературы

1. *Беллинсгаузен Ф.Ф.* Выписка из донесения капитана 2-го ранга Беллинсгаузена к морскому министру от 8 апреля 1820 г. из Порта Жаксона. СПб: Сын Отечества, 1821, изд. Воейкова и Гречева. С. 133—137.
2. *Беллинсгаузен Ф.Ф.* Двукратные изыскания в Южном Ледовитом океане и плавание вокруг света, в продолжение 1819, 20 и 21 годов, свершенные на шлюпах «Востоке» и «Мирном», под начальством капитана Беллинсгаузена, командира шлюпа «Восток». Шлюпом «Мирным» начальствовал лейтенант Лазарев. СПб. 1831, VI с атласом в 64 л., ч. I, 397 с. ч. II. 326 с.

3. *Малинин В.Н.* Уровень океана: настоящее и будущее. СПб: изд-во РГГМУ, 2012. 260 с.
4. *Сычёв В.И.* Ледовые условия у южного материка в начале XIX в. и в последние 40 лет / В сб.: Материалы IV Международной научно–практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)». М.: Изд-во МГУ 2015. С. 318—322.
5. *Сычёв В.И.* «Маркизова лужа». Легенды и правда о российском морском министре маркизе де Траверсе. СПб: Премиум-пресс, 2014. 292 с.
6. Arctic Data Archive System. [Электронный ресурс] AERC, National Institute of Polar Research. То-куо. 2018. Режим доступа: <https://ads.nipr.ac.jp/>. Дата обращения: 20.01. 2019.
7. Copernicus Open Access Hub. [Электронный ресурс] European Programme for the Establishment of a European Capacity for Earth Observation. 2018. Режим доступа: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>. Дата обращения: 20.01. 2019.
8. EarthExplorer [Электронный ресурс] U.S. Geological Survey. Reston. 2018. Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Дата обращения: 20.01. 2019.
9. Location of the Magdalena Oldendorff, 11 June — 20 July, and 29 July — December 2002. [Электронный ресурс] World Data Centre for Glaciology, Cambridge. 2002. Режим доступа: <https://www.wdgc.spri.cam.ac.uk/news/ship/map.html>. Дата обращения: 20.01. 2019.
10. *Tournadre, J., Girard-Ardhuin, F., Legrésy B.* Antarctic icebergs distributions, 2002—2010 // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. P. 1—15.
11. *Wesche, C., Jansen, D. and Dierking, W.* Calving Fronts of Antarctica Mapping and Classification // Remote Sensing. 2013, 5. P. 6305—6322.
12. Worldview. [Электронный ресурс] ASA/GSFC Earth Science Data and Information System (ESDIS) 2018. Режим доступа: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>. Дата обращения: 20.01. 2019.