

Мир, скованный льдом*

С.В. Попов

Антарктида – это бескрайние снега и льды, и лишь малую часть ее территории занимают скальные массивы. Одними из наиболее примечательных образований континента являются шельфовые ледники. Они окружают Антарктиду практически со всех сторон. Гидросфера Антарктиды коренным образом отличается от других континентов. Здесь нет (не доказано существование) разветвленной сети подледных рек, а имеются лишь 414 предположительно изолированных водоемов. Самым большим из них является озеро Восток. Его размеры составляют около 270×70 км при площади водного зеркала $15\,425$ км². Антарктида скрывает большие богатства: нефть, газ, каменный уголь, руды. Помимо этого, ее ледники содержат 24.69 млн км³ чистой пресной воды. Антарктида – это уникальный континент. Его изучение продолжается, и наша страна на протяжении вот уже шестидесяти лет принимает в этом самое активное участие.

Ключевые слова: Антарктида, подледный рельеф, ледниковый покров, подледниковые водоемы, подледниковое озеро Восток.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-15-20053).

«Ах, если бы вам когда-нибудь довелось увидеть своими глазами, как там чудесно...»

Р. Амундсен

Антарктида – это поистине другой мир. Это бескрайние снега, освещаемые зелено-голубыми с розовыми переливами полярными сияниями зимой и незаходящим желто-красным летним солнцем. Лишь 2.4% ее территории занимают скальные массивы [1], контрастно выделяющиеся приметными коричневатыми пятнами на фоне океана, льда и неба. Именно такой она запоминается всем, кто хоть однажды вступал на ее берега. Можно лишь догадываться, с каким восхищением и восторгом смотрели матросы шлюпов «Мирный» и «Восток», кораблей Первой русской антарктической экспедиции под командованием капитана 2 ранга Ф.Ф. Беллинсгаузена и лейтенанта М.П. Лазарева, на открывшийся вдруг их взору «...матерый лед чрезвычайной высоты, и в прекрасный тогда вечер, смотря с саленгу (т.е. со второй площадки мачты – С.П.), простирался оный так далеко, как могло только достигать зрение» [2]. Эти слова были написаны в то время, когда оба судна подошли к берегам Антарктиды. Сейчас мы знаем, что взору путешественников предстал современный шельфовый ледник Фимбулисен (рис. 1).

Шельфовые ледники – это уникальные образования. Они окружают Антарктиду практически со

всех сторон. От материкового они отличаются тем, что находятся на плаву в виде достаточно ровной, постепенно утоняющейся к краю ледяной плиты. Но распространены они не только в Антарктиде. Они имеются также и в Арктике, но там их размеры значительно скромнее. Особенно стоит остров Гренландия. Толщина его шельфовых ледников составляет более сотни метров [6]. Но в Антарктиде все имеет циклопические размеры. Здесь располагаются три самых больших шельфовых ледника нашей планеты: Росса, Фильхнера–Ронне и Эймери (рис. 1). Их размеры поистине гигантские: площадь первого чуть меньше территории Франции, второго – немного больше территории Швеции, а последнего – сравнима с территорией Швейцарии. При этом их толщина превышает 200 м [7], что сравнимо с высотой главного здания МГУ на Воробьевых горах.



ПОПОВ
Сергей Викторович
АО «Полярная морская
геологоразведочная экспедиция»

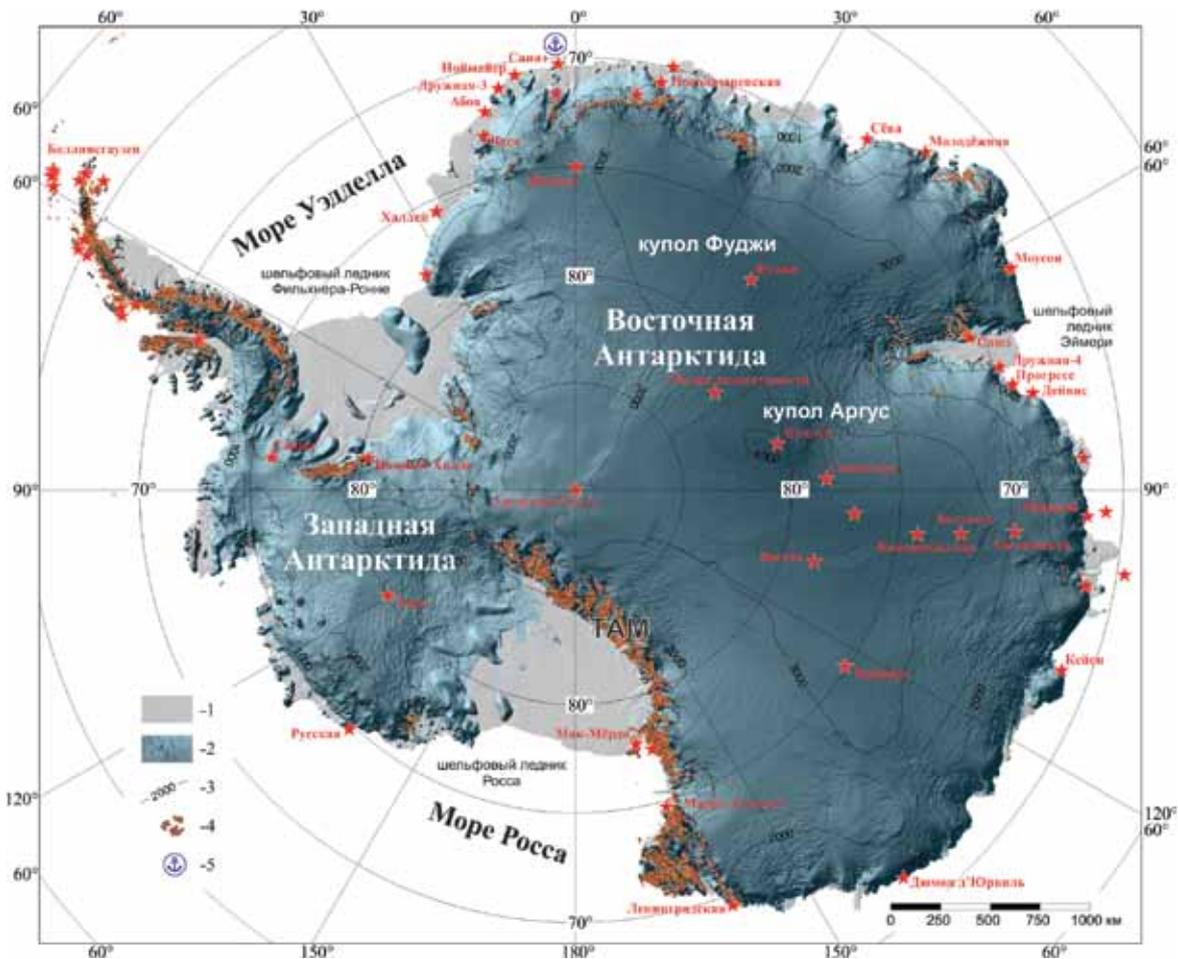


Рис. 1. Дневная поверхность Антарктиды: 1 – шельфовые ледники; 2 – материковые и выводные ледники; 3 – изогипсы высот дневной поверхности [3], сечение изолиний 1000 м; 4 – горные выходы на поверхность ледника [4]; 5 – место подхода Первой русской антарктической экспедиции к берегам Антарктиды [2, 5].

Размеры шельфовых ледников постоянно меняются. Это вызвано как их растеканием, так и разрушением в прифронтовой части, в результате которого образуются айсберги. С одним из них встретились участники Первой русской экспедиции. Их удивлению не было предела, когда шлюп «Мирный» подошел к «...ледяному острову вышиной от поверхности моря более 20 сажней (т.е. более 43 м – С.П.)» [5]. Еще больше поражает воображение айсберг, отколовшийся в октябре 1985 г. от шельфового ледника Фильхнера – Ронне. Изначально его размеры составляли около 200 × 100 км. Затем айсберг раскололся на три части примерно по 90 × 95 км каждый [1, 8]. Этому предшествовало формирование трещины колоссальных размеров Гранд Касмс (Grand Chasms). Незадолго

до откола айсбергов ее ширина составила 19 км! (рис. 2). Такие гигантские трещины можно встретить лишь в Антарктиде.

Шельфовые ледники занимают лишь 11,7% территории Антарктиды [7]. Оставшаяся область (исключая скальные массивы) сравнима по размерам с Канадой и Мексикой вместе взятыми. Она представляется, выражаясь словами Джека Лондона, «Белым Безмолвием» – миром нетающих белых снегов и голубого льда. Здесь нет птиц, а тишину нарушает лишь стон ветра и вой метели. Большая часть этой территории представляет собой равнину. В так называемом «поясе ветров», области практически неутихающего ветра (рис. 3), поверхность осложнена наддувами, застругами и рапаками самых причудливых форм. Они настолько плотные, что гусеницы многотонных тягачей практически не оставляют на них следа, а разрезать их можно только пилой.

Согласно последним данным средняя толщина антарктического ледника составляет 1937 м, при максимальных значениях около 4897 м [7]. Что же скрывает это многокилометровое голубое покрывало? Благодаря достижениям современной гео-

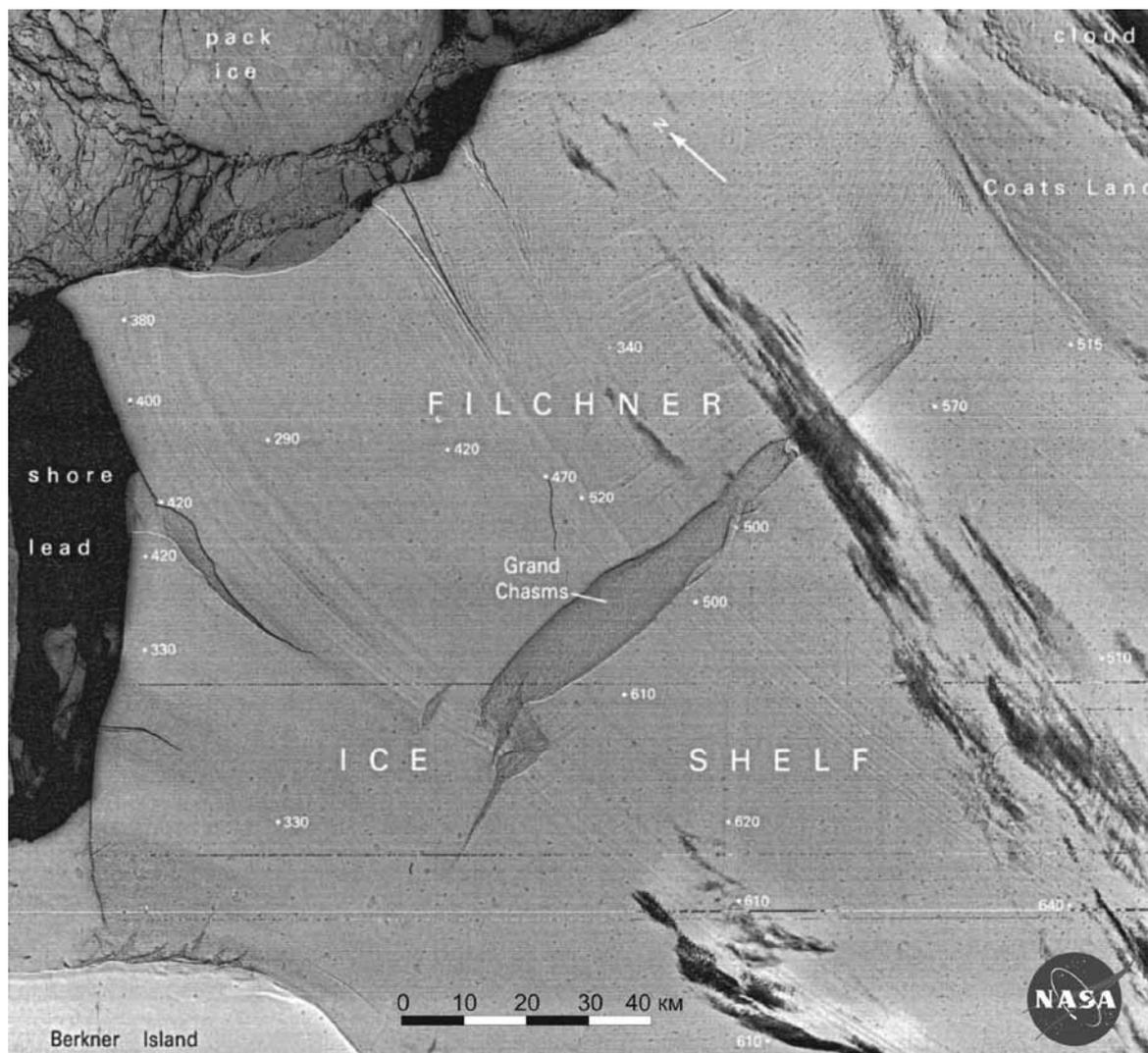


Рис. 2. Спутниковый снимок, выполненный 11 ноября 1973 г. в районе шельфового ледника Фильхнера–Ронне (заимствовано из работы [1] с изменениями).

физики мы можем достаточно обоснованно ответить на этот вопрос. С одной стороны, подледный рельеф Антарктиды (рис. 4) сохраняет основные черты всех других материков, но есть и заметные отличия. Именно они выделяют этот континент среди остальных. Вокруг каждого материка имеет-

ся шельф: выровненная область его подводной окраины, примыкающей к суше. Обычно он располагается на глубинах около 200 м ниже уровня моря [9], но в Антарктиде он глубже примерно вдвое [7] и вогнут



Рис. 3. Возвращение санно-гусеничного похода со станции Восток на станцию Мирный: а – полевой сезон 2003/04 гг.; б – полевой сезон 2005/06 г. Фотографии автора.

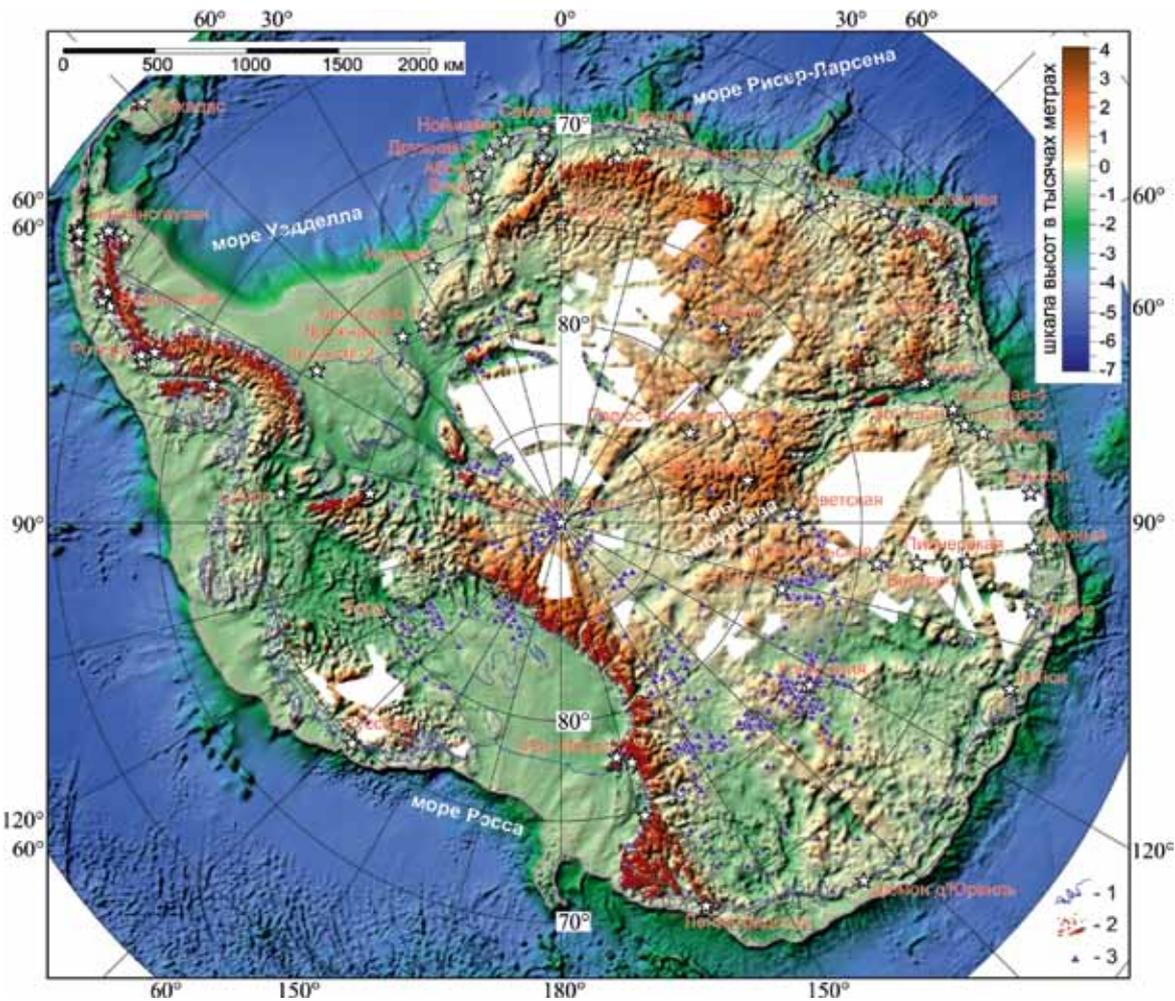


Рис. 4. Рельеф каменной поверхности Антарктиды [10]: 1 – береговая линия и границы шельфовых ледников [4]; 2 – горные выходы [4]; 3 – подледниковые водоёмы [11, 12].

к центру материка. Это произошло за счет дополнительной ледниковой нагрузки, которая, сместив баланс сил, деформировала литосферные плиты.

В Антарктиде имеется множество подледных депрессий. Они гораздо глубже, чем на других континентах. Это также связано с наличием дополнительной ледниковой нагрузки. Самым низким участком открытой суши нашей планеты является Мертвое море в Азии. Его берега располагаются на высоте -395 м [13]. Но придонная часть подледного трога Бентли в Антарктиде располагается на 2870 м ниже уровня моря [7]!

Если средняя высота поверхности суши составляет 875 м [14], то аналогичное значение для подледного рельефа Антарктиды всего лишь 83 м [7]. Но уберем леднико-

вую нагрузку. Тогда континент «расправит плечи» и произойдет его воздымание. Если воспользоваться общепринятой схемой изостатической компенсации Эри, то гляциоизостатическое погружение материка составляет примерно четверть толщины ледника. Таким образом, рельеф Антарктиды до начала оледенения (или после освобождения ото льда) мог быть примерно таким, как показано на рисунке 5a. Как следует из рисунка 5b, амплитуды гляциоизостатического погружения в среднем составляют около полукилометра. При этом расчеты показывают, что средняя высота поверхности Антарктиды без ледника составляет около 520 м, т.е. выше современной Австралии (320 м) и чуть ниже Южной Америки (600 м) [14].

Следующее отличие Антарктиды состоит в ее гидросфере. Она коренным образом отличается от других континентов. До конца прошлого века существование гидросферы, применительно к подледной среде Антарктиды, в научных кругах если не отрицалось, то, по крайней мере, широко не обсуждалось. Однако еще к середине 1960-х появились результа-

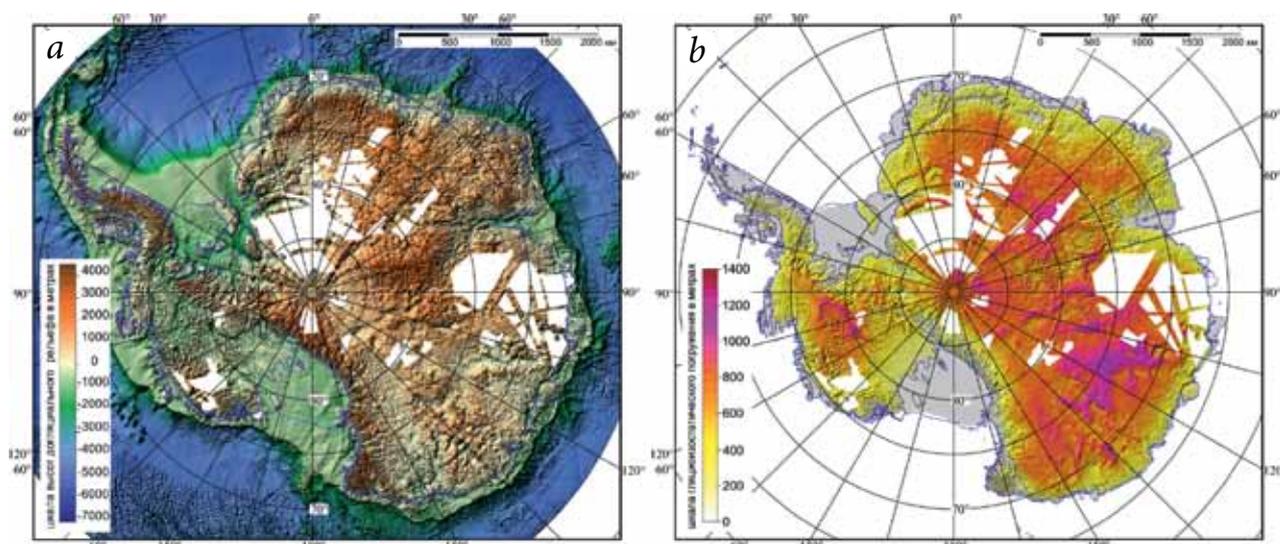


Рис. 5. Гипотетический догляциальный рельеф Антарктики (а) и предполагаемая величина гляциоизостатического погружения континента (б). Синим цветом показана современная береговая линия Антарктиды [4].

ты математического моделирования И.А. Зотикова. Они наглядно продемонстрировали возможность донного таяния из-за огромного давления ледника на каменное основание. При этом талая вода заполняет отрицательные формы подледной поверхности, что приводит к образованию подледниковых водоемов [15]. Менее чем через десятилетие появились первые свидетельства, подтверждающие эту гипотезу. В декабре 1967 г. в ходе англо-американских аэрогеофизических исследований в непосредственной близости от станции Советская был открыт первый подледниковый водоем [16]. Еще через десять лет было выявлено в общей сложности 17 подобных объектов [17, 18]. Но лишь после открытия в конце прошлого века подледникового озера Восток, самого большого подледникового водоема на нашей планете [19–21], подледная гидросфера Антарктиды привлекла к себе пристальное внимание.

На сегодняшний день зарегистрировано 414 относительно небольших (до нескольких десятков километров в длину) объектов подобного рода [11, 12], однако озеро Восток, расположенное к северу от одноименной российской станции, поражает воображение своими размерами. Оно попадает в двадцатку крупнейших озер нашей планеты и занимает промежуточное место между Онежским и Ладожским. Его средняя глубина составляет около 400 м, при максимальном измеренном значении в 1220 м. Общий объем воды в озере оценивается в 6100 км³ [21]. Положение выявленных подледниковых водоемов в Антарктиде показано на рисунке 4.

Несмотря на обилие подледниковых водоемов, наличие разветвленной гидросети, т.е. многочис-

ленных рек, текущих под антарктическим ледником, не доказано. В этом состоит еще одно отличие Антарктиды от других материков. На сегодняшний день нет ни одного документального подтверждения наличия подледниковых рек. Во всяком случае, на современном уровне наших знаний об Антарктиде корректнее говорить о предположительно изолированных подледниковых озерах, нежели о разветвленной речной сети.

Помимо того что Антарктида таит в себе много загадок, она является надеждой Человечества. Геолого-геофизические исследования, которые выполняются на регулярной основе уже более полувека, показали, что Антарктида богата полезными ископаемыми. Перспективные в плане разработки (на настоящий момент любая деятельность, связанная с минеральными ресурсами, в Антарктиде запрещена) запасы угля оцениваются в 150 млрд т, запасы железных руд только в горах Принс-Чарльз (восточная Антарктида) составляют 5–10 млрд т. На Антарктическом полуострове найдено медно-молибденовое месторождение с запасами руды около 140 млн т. Кроме того, в Антарктиде имеются запасы золота, платины, урана и алмазов [22]. Антарктида



Рис. 6. Схема возможного затопления Восточной Европы, Европейской части России и части Западной Сибири. Синим цветом показана современная береговая линия и воды Мирового океана [30], область затопления показана голубым цветом. Красным цветом показаны государственные границы. Данные высот поверхности Земли заимствованы из проекта ETOPO1 [31].

богата нефтью и газом. Согласно современным оценкам [23] их запасы сравнимы с запасами нефти таких стран, как Венесуэла, Саудовская Аравия и Россия вместе взятых [24].

Но не только своими недрами богата Антарктида. Известно, что запасы пресной воды на Земле составляют 10.66 млн км³. Однако лишь 1.2% из них приходится на озера и реки, т.е. на ресурсы, доступность которых не предполагает значительных затрат. Остальная часть – это подземные воды, заполняющие трещины и полости в земной коре до глубин около 2 км [25]. При этом количество пресной воды

неуклонно снижается. По данным ООН уже сейчас более 1.2 млрд людей живут в условиях ее постоянного дефицита, а еще около 2 млрд жителей страдают от ее регулярной нехватки. Через десять–пятнадцать лет их численность удвоится [26, 27]. С другой стороны, общий объем антарктических ледников оценивается в 26.92 млн км³ [7]. Это соответствует 24.69 млн км³ чистой пресной воды, что примерно вдвое превышает имеющиеся ее запасы (с учетом грунтовых) и в 190 раз больше объема пресноводных рек и озер! Таким образом, в антарктическом леднике сосредоточено более двух третей всего потенциала пресной воды нашей планеты. И именно она может обеспечить будущее человечества. Уже более полувека разрабатываются различные проекты транспортировки айсбергов из Антарктики в засушливые районы нашей планеты [28, 29].

Однако антарктический ледник таит в себе и опасность. Согласно современным оценкам его таяние приведет к повышению уровня Мирового океана на 58 м [7]. Уйдут под воду такие города, как Санкт-Петербург и Калининград, Архангельск и Мурманск, Владивосток и Таллинн, Лондон и Берлин, Токио и Пекин. Полностью исчезнет Голландия. Схема затопления Восточной Европы, европейской части России и большей части Западной Сибири показана на *рисунке 6*. Но это далеко не все беды. Сброс холодной воды в Мировой океан изменит морские течения, которые принимают самое активное участие в формировании климата нашей планеты. Вслед за освобождением Антарктиды от ледяной нагрузки начнется поднятие континента. Это приведет к тектоническим движениям, которые будут сопровождаться землетрясениями и извержениями вулканов по всей Земле.

Антарктида – это уникальный континент, аналогов которому нет на нашей планете. Его изуче-

ние продолжается, и наша страна на протяжении вот уже шестидесяти лет принимает в этом самое активное участие. Благодаря научно-техническому прогрессу в недалеком будущем геофизические исследования мира, скованного льдом, еще больше расширят наше представление о прошлом и настоящем мира, в котором мы живем. Ведь по меткому замечанию академика В.М. Котлякова «...*период географических открытий еще не завершен*».

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: проекты №№ 03-05-64198, 07-05-00401, 07-05-00573, 10-05-91330ННИО и 14-05-00234.

Литература

1. C. Swithinbank
Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: Antarctica, United States Geological Survey Professional Paper 1386-B, USA, Washington, D.C., 1988, 290 pp.
2. А.Ф. Трешников
История открытия и исследования Антарктиды, Сер. «Открытие земли: Антарктида», Москва, Географиз, 1963, 431 с.
3. J.L. Bamber, J.L. Gomez-Dans, J.A. Griggs
Cryosph., 2009, 3(1), 101. DOI: 10.5194/tc-3-101-2009.
4. Scientific Committee on Antarctic Research Antarctic Digital Database (SCAR ADD), UK, Cambridge, British Antarctic Survey (<http://www.add.scar.org/>).
5. М.П. Лазарев. *Документы в 3 тт., Сер. Русские флотоводцы. Материалы для истории русского флота, т. 1*, под ред. А.А. Самарова, Москва: Военно-морское издательство Военно-морского министерства СССР, 1952, 524 с.
6. J.L. Bamber, J.A. Griggs, R.T.W.L. Hurkmans, J.A. Dowdeswell, S.P. Gogineni, I. Howat, J. Mouginot, J. Paden, S. Palmer, E. Rignot, D. Steinhage
Cryosph., 2013, 7(2), 499. DOI: 10.5194/tc-7-499-2013.
7. P. Fretwell, H.D. Pritchard, D.G. Vaughan, J.L. Bamber, N.E. Barrand, R. Bell, C. Bianchi, R.G. Bingham, D.D. Blankenship, G. Casassa, G. Catania, D. Callens, H. Conway, A.J. Cook, H.F.J. Corr, D. Damaske, V. Damm, F. Ferraccioli, R. Forsberg, S. Fujita, Y. Gim, P. Gogineni, J.A. Griggs, R.C.A. Hindmarsh, P. Holmlund, J.W. Holt, R.W. Jacobel, A. Jenkins, W. Jokat, T. Jordan, E.C. King, J. Kohler, W. Krabill, M. Riger-Kusk, K.A. Langley, G. Leitchenkov, C. Leuschen, B.P. Luyendyk, K. Matsuoka, J. Mouginot, F.O. Nitsche, Y. Nogi, O.A. Nost, S.V. Popov, E. Rignot, D.M. Rippin, A. Rivera, J. Roberts, N. Ross, M.J. Siegert, A.M. Smith, D. Steinhage, M. Studinger, B. Sun, B.K. Tinto, B.C. Welch, D. Wilson, D.A. Young, C. Xiangbin, A. Zirizzotti
Cryosph., 2013, 7(1), 375. DOI: 10.5194/tc-7-375-2013.
8. В.М. Котляков
Избранные сочинения в 6 книгах, Книга 1. Гляциология Антарктиды, Москва, Наука, 2000, 432 с.
9. J.K. Hall
Mar. Geophys. Res., 2006, 27(1), 1. DOI: 10.1007/s11001-006-8181-4.
10. С.В. Попов
В Сб. Геоморфология и картография: материалы XXXIII Пленума геоморфологической комиссии РАН, (Саратов, 17–20 сентября, 2013), Саратов, Изд. СГУ, 2013, с. 230–234.
11. С.В. Попов, Ю.Б. Черноглазов
Лед и снег, 2011, № 1(113), 13.
12. A. Wright, V.J. Siegert
В Antarctic Subglacial Aquatic Environments, Ser. Geophysical Monograph Series, V. 192, Eds M.J. Siegert, M.C. Kennicutt, USA, D.C., Washington, 2011, pp. 9–26. DOI: 10.1002/9781118670354.ch2.
13. *Малый атлас мира*, ред. Н.М. Терехов, Москва, ГУГК, 1981, 147 с.
14. Г.И. Рычагов
Общая геоморфология: Классический университетский учебник, Москва, Наука, 2006, 416 с.
15. И.А. Зотиков
Инф. Бюлл. САЭ, 1961, вып. 28, 16.
16. G. de Q. Robin, C.W.M. Swithinbank, B.M.E. Smith
В Proc. International Symposium on Antarctic Glaciological Exploration (ISAGE) (USA, NH, Hanover, 3–7 September, 1968), Pub. №86 IASH, Ed. A.J. Gow, Belgium, Gentbrugge, International Association of Scientific Hydrology Publ., 1970, pp. 97–102.
17. G.K.A. Oswald
J. Glaciol., 1975, 15(73), 75. DOI: 10.1017/S0022143000034286.
18. G.K.A. Oswald, G. de Q. Robin
Nature, 1973, 245(5423), 251. DOI: 10.1038/245251a0.
19. J.K. Ridley, W. Cudlip, W. Laxon
J. Glaciol., 1993, 39(133), 625. DOI: 10.1017/S002214300001652X.
20. A.P. Kapitsa, J.K. Ridley, G. de Q. Robin, M.J. Siegert, I.A. Zotikov
Nature, 1996, 381(6584), 684. DOI: 10.1038/381684a0.
21. С.В. Попов, В.Н. Масолов, В.В. Лукин
Лед и снег, 2011, № 1(113), 25.
22. Г.Э. Грикуров, Г.Л. Лейченко, Е.В. Михальский, А.В. Гольинский, В.Н. Масолов
Разведка и охрана недр, 2000, № 12, 59.
23. Г.Л. Лейченко, В.Л. Иванов
В 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане: Сборник научных трудов, под ред. В.Л. Иванова, Санкт-Петербург, ВНИИОкеангеологии, 2008, 329–338.
24. *BP Statistical Review of World Energy. June 2015*, UK, Pureprint Group Limited, 2015, 48 pp. (<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>).
25. *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century, International Hydrology Series*, Eds I.A. Shiklomanov, J.C. Rodda, UK, Cambridge, Cambridge University Press, 2000, 452 pp.
26. В.И. Данилов-Данильян
Век глобализации, 2008, № 1, 45.

27. P.H. Gleick
Science, 2003, 302(5650), 1524. DOI: 10.1126/science.1089967.
28. В.П. Максаковский
Географическая картина мира: Пособие для вузов в 2 кн., кн. I, Общая характеристика мира, Москва, «Дрофа», 2008, 495 с.
29. Ю.П. Супруненко
Химия и жизнь, 2006, № 6, 57.

30. P. Wessel, W.H.F. Smith
J. Geophys. Res., 1996, 101, B4, 8741. DOI: 10.1029/96JB00104.
31. C. Amante, B.W. Eakins
ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, National Geophysical Data Center, Marine Geology and Geophysics Division, USA, CO, Boulder, 2009, 19 pp. (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/relief/ETOPO1/docs/ETOPO1.pdf>).

English

The Icebound World*

Sergey V. Popov

JSC "Polar Marine Geosurvey Expedition"
24 Pobedy Str., St. Petersburg – Lomonosov, 198412, Russia
spopov67@yandex.ru

Abstract

Antarctica is a world of endless snow and ice. Rock massifs occupy just a small part of its territory. The most remarkable formations of the continent are the ice shelves; they surround Antarctica almost all around. The Antarctic hydrosphere is completely different from the other continents' hydrospheres. Here there is no a ramified network of sub-ice rivers (at least, not proven its existence), and just 414 supposedly isolated reservoirs are known yet. Lake Vostok is the largest of them. Its dimensions are about 270×70 km and water surface area is about 15425 km^2 . Antarctica hides great natural wealth: oil, gas, coal, ores. In addition, its glaciers contain 24.69 mln km^3 of clean fresh water. Antarctica is a unique continent. Its exploration continues, and our country has already been taking an active part in these researches for sixty years.

Keywords: Antarctic, subglacial relief, ice sheet, subglacial water body, subglacial Lake Vostok.

*The work was financially supported by RFBR (project 17-15-20053).

Images & Tables

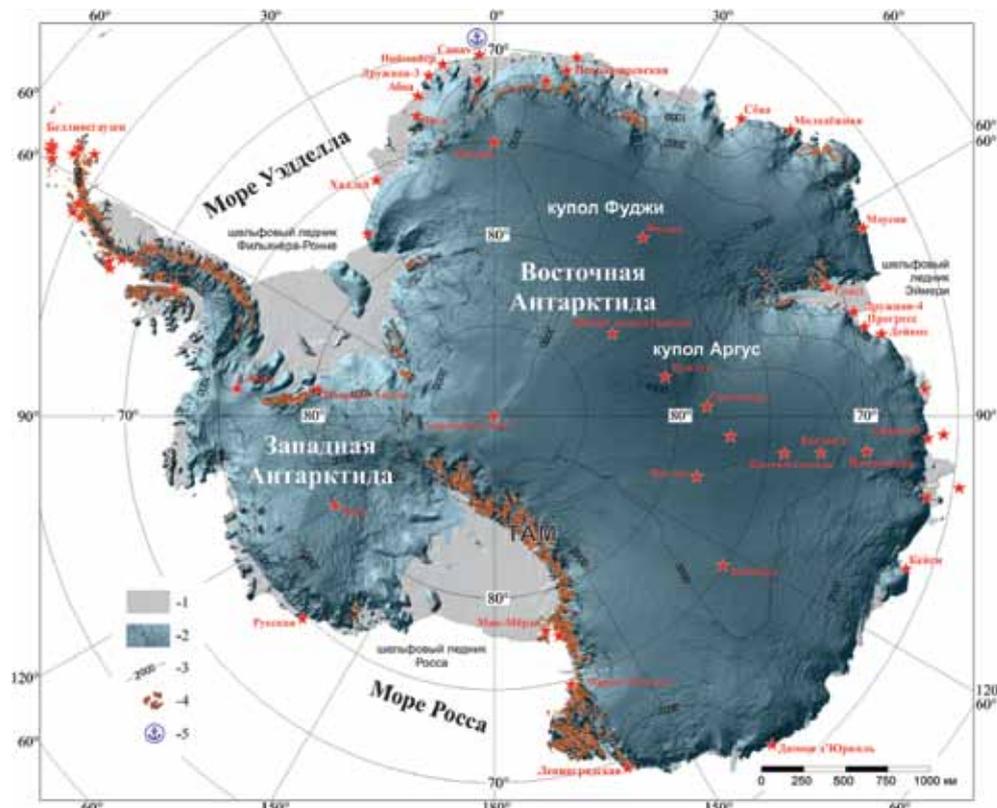


Fig. 1. The Antarctic surface: 1 – ice shelves; 2 – continental and outlets glaciers; 3 – isohypses of the ice surface [3], contour interval is 1000 m; 4 – rock outcrops [4]; 5 – the place where the First Russian Antarctic Expedition reached Antarctica [2, 5].

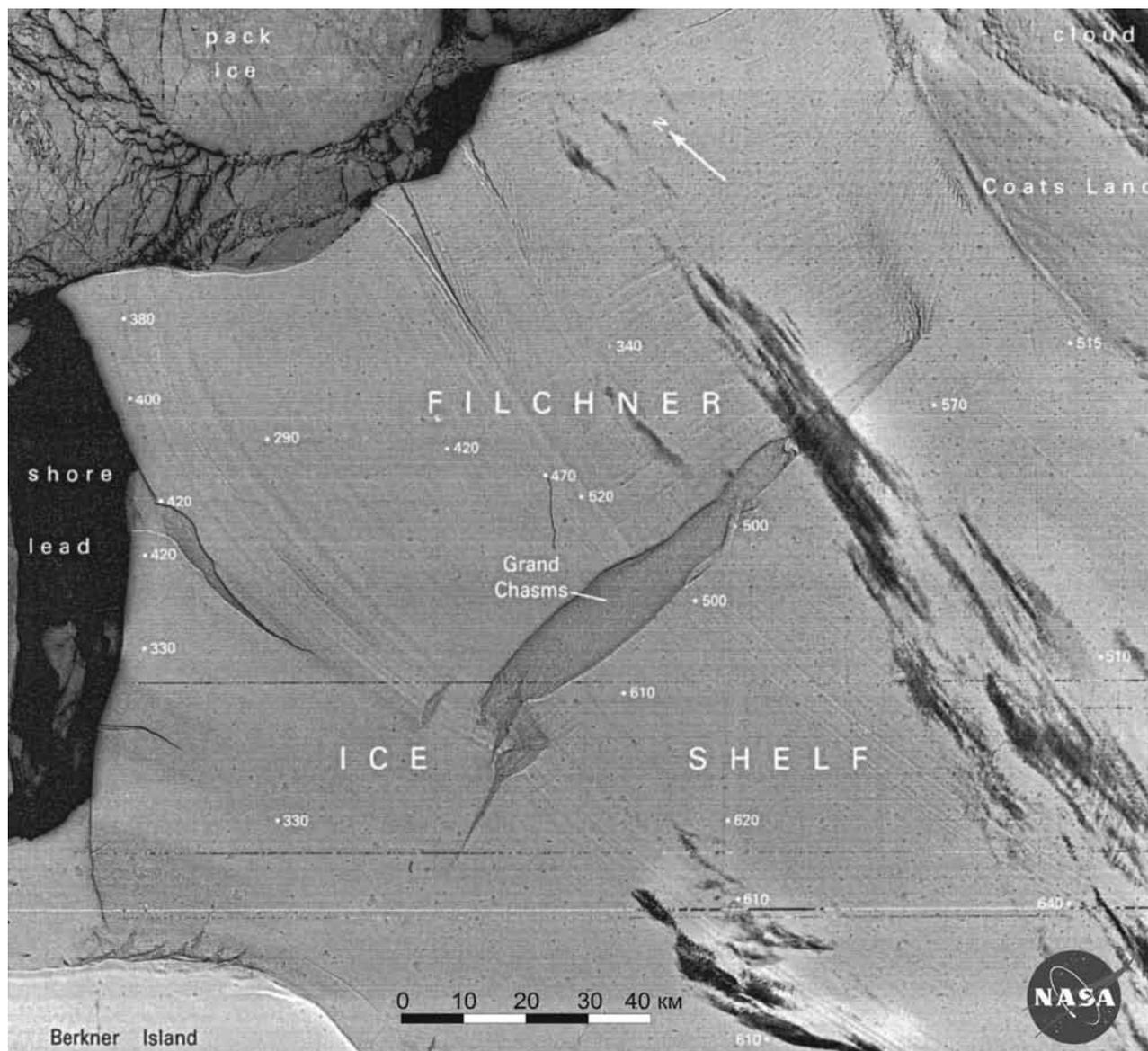


Fig. 2. Satellite image taken in November 11, 1973, in the area of Filchner-Ronne Ice Shelf ([1], with some changes).



Fig. 3. Return of the scientific traverse from Vostok to Mirny station: a – the 2003/04 summer field season; b – the 2005/06 summer field season. The author's picture.

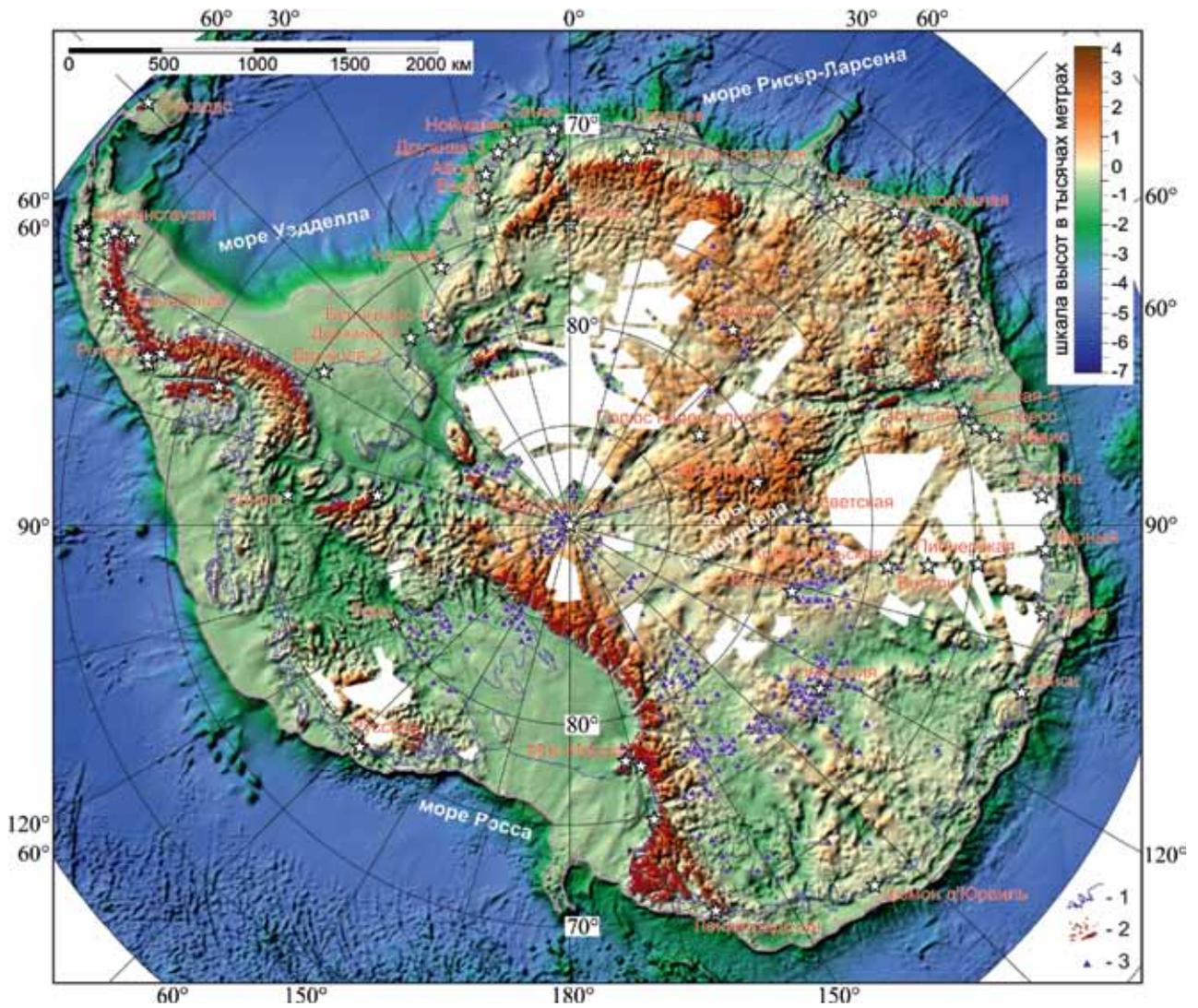


Fig. 4. Bedrock topography of Antarctica [10]: 1 – ice front and grounding line [4]; 2 – rock outcrops [4]; 3 – subglacial water bodies [11, 12].

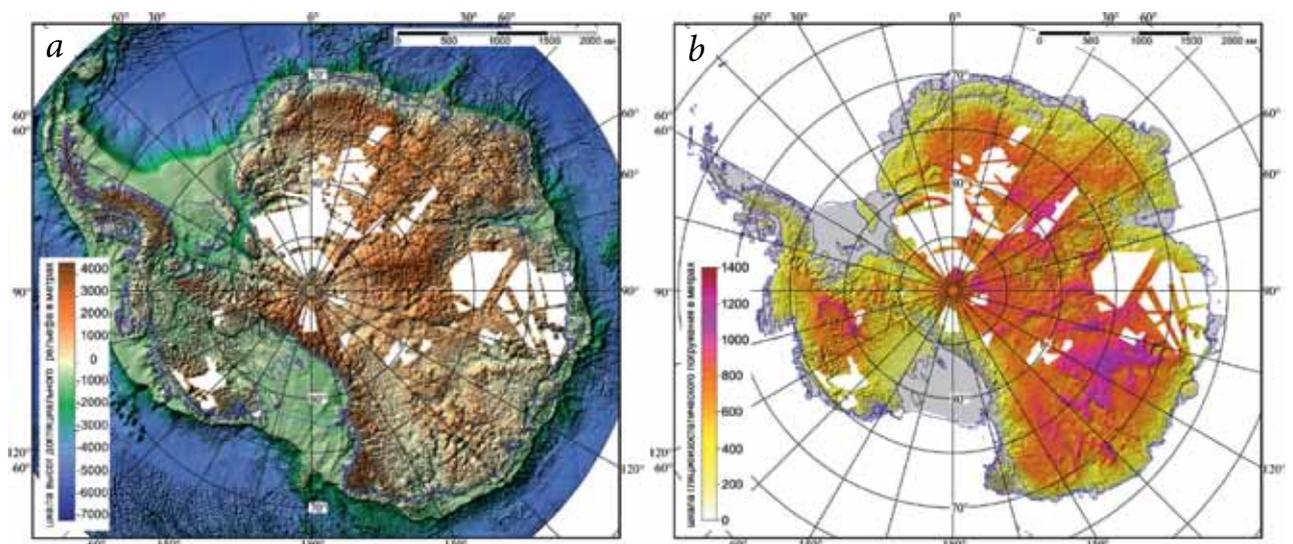


Fig. 5. Hypothetical pre-glacial relief of Antarctica (a) and the supposed value of the continent glacioisostatic deflection (b). Blue line shows the modern coastline (the ice-front) of Antarctica [4].



Fig. 6. Scheme of flood-prone territories of Eastern Europe, the European part of Russia and a part of Western Siberia. Present-day ice front is depicted by blue line [30], the flooding area is shown in cyan. State borders are shown in red. The topographic data are taken from the ETOPO1 scientific project [31].

References

1. C. Swithinbank
Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: Antarctica, United States Geological Survey Professional Paper 1386-B, USA, Washington, D.C., 1988, 290 pp.
2. A.F. Treshnikov
The History of Discovery and Exploration of Antarctica, Ser. "The Discovery of Land: Antarctica" [Istoriya otkrytiya i issledovaniya Antarktidi], RF, Moscow, Geografiz, 1963, 431 pp. (in Russian).
3. J.L. Bamber, J.L. Gomez-Dans, J.A. Griggs
Cryosph., 2009, 3(1), 101. DOI: 10.5194/tc-3-101-2009.
4. Scientific Committee on Antarctic Research Antarctic Digital Database (SCAR ADD), UK, Cambridge, British Antarctic Survey (<http://www.add.scar.org/>).
5. M.P. Lazarev. *Dokumenty in 3 Vols, Ser. Russian Naval Commanders. Materials for the Russian Fleet History [M.P. Lazarev. Dokumenty v 3 tt., Ser. Russkie flotovodtsy. Materialy dlya istorii russkogo flota]*, Ed. A.A. Samarov, RF, Moscow: Naval Publishing House of the Naval Ministry of the USSR, 1952, 524 pp.
6. J.L. Bamber, J.A. Griggs, R.T.W.L. Hurkmans, J.A. Dowdeswell, S.P. Gogineni, I. Howat, J. Mouginot, J. Paden, S. Palmer, E. Rignot, D. Steinhage
Cryosph., 2013, 7(2), 499. DOI: 10.5194/tc-7-499-2013.
7. P. Fretwell, H.D. Pritchard, D.G. Vaughan, J.L. Bamber, N.E. Barrand, R. Bell, C. Bianchi, R.G. Bingham, D.D. Blankenship, G. Casassa, G. Catania, D. Callens, H. Conway, A.J. Cook, H.F.J. Corr, D. Damaske, V. Damm, F. Ferraccioli, R. Forsberg, S. Fujita, Y. Gim, P. Gogineni, J.A. Griggs, R.C.A. Hindmarsh, P. Holmlund, J.W. Holt, R.W. Jacobel, A. Jenkins, W. Jokar, T. Jordan, E.C. King, J. Kohler, W. Krabill, M. Riger-Kusk, K.A. Langley, G. Leitchenkov, C. Leuschen, B.P. Luyendyk, K. Matsuoka, J. Mouginot, F.O. Nitsche, Y. Nogi, O.A. Nost, S.V. Popov, E. Rignot, D.M. Rippin, A. Rivera, J. Roberts, N. Ross, M.J. Siegert, A.M. Smith, D. Steinhage, M. Studinger, B. Sun, B.K. Tinto, B.C. Welch, D. Wilson, D.A. Young, C. Xiangbin, A. Zirizzotti
Cryosph., 2013, 7(1), 375. DOI: 10.5194/tc-7-375-2013.
8. V.M. Kotlyakov
Selected Works in 6 Vols, Vol. 1. Glaciology of Antarctica [Izbrannye sochineniya v 6 knigah. Kniga 1. Glyatsiologiya Antarktidi], RF, Moscow, Nauka, 2000, 432 pp. (in Russian).
9. J.K. Hall
Mar. Geophys. Res., 2006, 27(1), 1. DOI: 10.1007/s11001-006-8181-4.

10. **S.V. Popov**
In Proc. *Geomorphology and Cartography: Materials of the XXXIII Plenum of the Geomorphological Commission of the RAS* [Geomorfologiya i kartografiya: materialy XXXIII Plenuma geomorfologicheskoy komissii RAN], (RF, Saratov, 17–20 September, 2013), RF, Saratov, Saratov State University Publ., 2013, pp. 230–234 (in Russian).
11. **S.V. Popov, Yu.B. Chernoglazov**
Ice and Snow [Led i sneg], 2011, №1(113), 13 (in Russian).
12. **A. Wright, V.J. Siegert**
In *Antarctic Subglacial Aquatic Environments, Ser. Geophysical Monograph Series*, V. 192, Eds M.J. Siegert, M.C. Kennicutt, USA, D.C., Washington, 2011, pp. 9–26.
DOI: 10.1002/9781118670354.ch2.
13. *The Small Atlas of the World* [Malyy atlas mira], Ed. N.M. Terekhov, RF, Moscow, GUGK Publ., 1981, 147 pp. (in Russian).
14. **G.I. Rychagov**
General Geomorphology: Classical University Textbook [Obshchaya geomorfologiya], RF, Moscow, Nauka, 2006, 416 pp. (in Russian).
15. **I.A. Zotikov**
SAE Reports [Inf. Bull. SAE], 1961, 28, 16 (in Russian).
16. **G. de Q. Robin, C.W.M. Swithinbank, B.M.E. Smith**
In Proc. *International Symposium on Antarctic Glaciological Exploration (ISAGE) (USA, NH, Hanover, 3–7 September, 1968)*, Pub. №86 IASH, Ed. A.J. Gow, Belgium, Gentbrugge, International Association of Scientific Hydrology Publ., 1970, pp. 97–102.
17. **G.K.A. Oswald**
J. Glaciol., 1975, 15(73), 75. DOI: 10.1017/S0022143000034286.
18. **G.K.A. Oswald, G. de Q. Robin**
Nature, 1973, 245(5423), 251. DOI: 10.1038/245251a0.
19. **J.K. Ridley, W. Cudlip, W. Laxon**
J. Glaciol., 1993, 39(133), 625.
DOI: 10.1017/S002214300001652X.
20. **A.P. Kapitsa, J.K. Ridley, G. de Q. Robin, M.J. Siegert, I.A. Zotikov**
Nature, 1996, 381(6584), 684. DOI:10.1038/381684a0.
21. **S.V. Popov, V.N. Masolov, V.V. Lukin**
Ice and Snow [Led i sneg], 2011, №1(113), 25 (in Russian).
22. **G.E. Griukov, G.L. Leitchenkov, E.V. Michalsky, A.V. Golynsky, V.N. Masolov**
Prospect and Protection of Mineral Resources J. [Razvedka i ochrana nedr], 2000, №12, 59 (in Russian).
23. **G.L. Leichenkov, V.L. Ivanov**
In *60 years in the Arctic, Antarctica and the World Ocean: Collection of scientific papers [60 let v Arktike, Antarktike i Mirovom Okeane: Sbornik nauchnyh trudov]*, Ed. V.L. Ivanov, RF, St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya, 2008, pp. 329–338 (in Russian).
24. *BP Statistical Review of World Energy. June 2015*, UK, Pureprint Group Limited, 2015, 48 pp. (<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>).
25. *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century, International Hydrology Series*, Eds I.A. Shiklomanov, J.C. Rodda, UK, Cambridge, Cambridge University Press, 2000, 452 pp.
26. **V.I. Danilov-Danilyan**
Age of Globalization: J. Global Studies, 2008, №1, 45 (in Russian).
27. **P.H. Gleick**
Science, 2003, 302(5650), 1524. DOI: 10.1126/science.1089967.
28. **V.P. Maksakovskiy**
Geographical image of the world: A manual for universities in 2 Vols, Vol. I, General characteristics of the world [Geograficheskaya kartina mira: Posobie dlya vuzov v 2 kn., kniga I: Obshchaya harakteristika mira], Moscow, Drofa Publ., 2008, 495 pp. (in Russian).
29. **Yu.P. Suprunenko**
Chemistry and Life [Chimiya i Zhizn], 2006, №6, 57 (in Russian).
30. **P. Wessel, W.H.F. Smith**
J. Geophys. Res., 1996, 101, B4, 8741. DOI: 10.1029/96JB00104.
31. **C. Amante, B.W. Eakins**
ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, National Geophysical Data Center, Marine Geology and Geophysics Division, USA, CO, Boulder, 2009, 19 pp. (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/relief/ETOPO1/docs/ETOPO1.pdf>).