

Вклад России в Международный полярный год 2007/08
Series: Contribution of Russia to International Polar Year 2007/08

Строение и история развития литосферы

Structure and Evolution of the Lithosphere

Главный редактор тома
Ю.Г. Леонов

Editor-in-chief
Yu. G. Leonov

Редакционная коллегия
*В.Л. Иванов, В.Г. Каминский, Ю.А. Лаврушин,
Г.Л. Лейченко, С.Д. Соколов*

Editorial Board
*V.L. Ivanov, V.D. Kaminskiy, Yu. A. Lavrushin,
G.L. Leychenkov, S.D. Sokolov*

Paulsen Editions. Москва – Санкт-Петербург
Paulsen Editions. Moscow – Saint-Petersburg
2010

УДК 84
ББК 82

Строение и история развития литосферы. – М.: Paulsen, 2010. – 640 с.:
ил. – ISBN 978-5-98797-043-0

Макет, верстка Д.П. Глазков, А.В. Гончарова

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ
ПО УЧАСТИЮ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ПОДГОТОВКЕ И ПРО-
ВЕДЕНИИ В 2007–2008 гг. МЕЖДУНАРОДНОГО ПОЛЯРНОГО ГОДА

Редакционный совет

А.И. Бедринский (сопредседатель)
А.Н. Чилингаров (сопредседатель)
В.М. Котляков (заместитель председателя)
Ю.Г. Леонов (заместитель председателя)
Г.Г. Матишов (заместитель председателя)
И.Е. Фролов (заместитель председателя)
В.Г. Дмитриев (ответственный секретарь)

*Л.И. Абрютин, Г.В. Алексеев, Е.Н. Андреева, И.М. Аших, В.Г. Блинов,
Д.А. Гиличинский, В.М. Грузинов, А.И. Данилов, Г.Н. Дёгтева, В.В. Денисов,
Д.С. Дроздов, Н.А. Зайцева, В.Д. Каминский, А.В. Клепиков, Ю.А. Лаврушин,
Г.Л. Лейченко, В.Я. Липенков, В.М. Макеев, В.А. Мартыщенко, М.Ю. Моска-
левский, И.И. Мохов, А.В. Неелов, В.Ф. Радионов, С.Д. Соколов, Л.А. Тимохов,
А.А. Тишков, А.В. Фролов, Ю.С. Цатуров, В.Н. Шеповальников, И.А. Шикломанов*

Серия «Вклад России в Международный полярный год 2007/08»:
Полярная атмосфера
Океанография и морской лёд
Полярная криосфера и воды суши
Строение и история развития литосферы
Наземные и морские экосистемы
Проблемы здравоохранения и социального развития Арктической зоны России
Итоги МПГ 2007/08 и перспективы российских полярных исследований

ISBN 978-5-98797-043-0

© Paulsen ААНИИ

© Paulsen ААRI

Отпечатано в ООО «Митель Пресс»
Ул. Руставели, д.14, стр.6, тел.: (495) 647-01-89, 619-08-30

Мощность ледникового покрова и подлёдный рельеф Восточной Антарктиды (результаты исследований по проекту МПГ)

**С.В. Попов¹, Г.Л. Лейченко²,
В.Н. Масолов¹, В.М. Котляков³, М.Ю. Москалевский³**

*1 – Полярная морская геологоразведочная экспедиция (ПМГРЭ),
г. Санкт-Петербург, г. Ломоносов, Россия*

*2 – Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных
ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга (ВНИИОкеангеология),
г. Санкт-Петербург, Россия*

3 – Институт географии Российской Академии Наук (ИГ РАН), г. Москва, Россия

Аннотация

В статье представлены результаты исследований по проекту МПГ 2007-2008 ABRIS (исследование коренного рельефа и мощности ледникового щита Антарктиды), в рамках которого создана база данных мощности льда Восточной Антарктиды и составлены карты подлёдного рельефа и мощности ледникового покрова. Основным источником информации для построения карт являлись материалы отечественных радиолокационных исследований, выполненных с 1966 по 2008 гг., и зарубежных экспедиций, полученных из международной базы данных переданных организациями исполнителями работ.

Введение

В октябре 1996 г. в г. Кембридже (Великобритания) по инициативе рабочей группы по геофизике Научного комитета по исследованиям в Антарктике (SCAR) состоялось рабочее совещание, посвящённое оценке состояния изученности ледникового покрова и коренного рельефа Антарктиды и созданию нового международного проекта «Топография коренного ложа Антарктики» (BEDMAP). В ходе совещания были определены цели и задачи нового проекта, а также методические подходы для успешной его реализации (BEDMAP, 1996). Работу по сбору материала, созданию объединённой базы данных и составлению карт возглавили специалисты Британской антарктической службы (BAS).

В ходе выполнения проекта BEDMAP была сформирована база данных, содержащая 1931437 пунктов измерений мощности ледникового покрова по 127 объектам геофизических работ, выполненных в Антарктиде в период с 1950-х до середины 1990-х годов (BEDMAP, 1999). Основную их часть (99.64%) составляют материалы радиолокационного профилирования (РЛП). После обработки всех полученных данных были сформированы grids мощности ледникового покрова и коренного рельефа и на их основе создана и опубликована карта коренного рельефа Антарктики масштаба 1:10 000 000 (Lythe et al., 2000). Важным достижением проекта BEDMAP

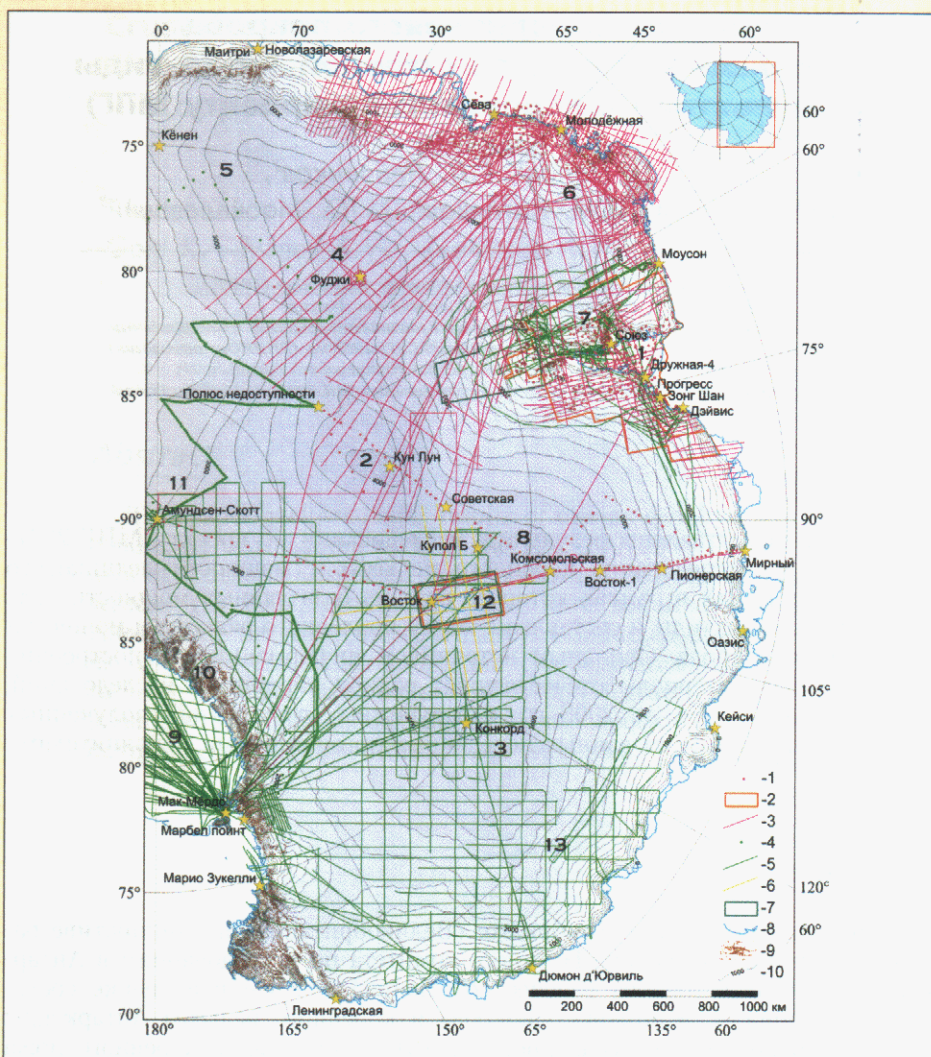


Рис. 1 Схема радиолокационных и сейсмических исследований, использованных для составления карт мощности ледникового покрова и подлёдного рельефа Восточной Антарктиды.

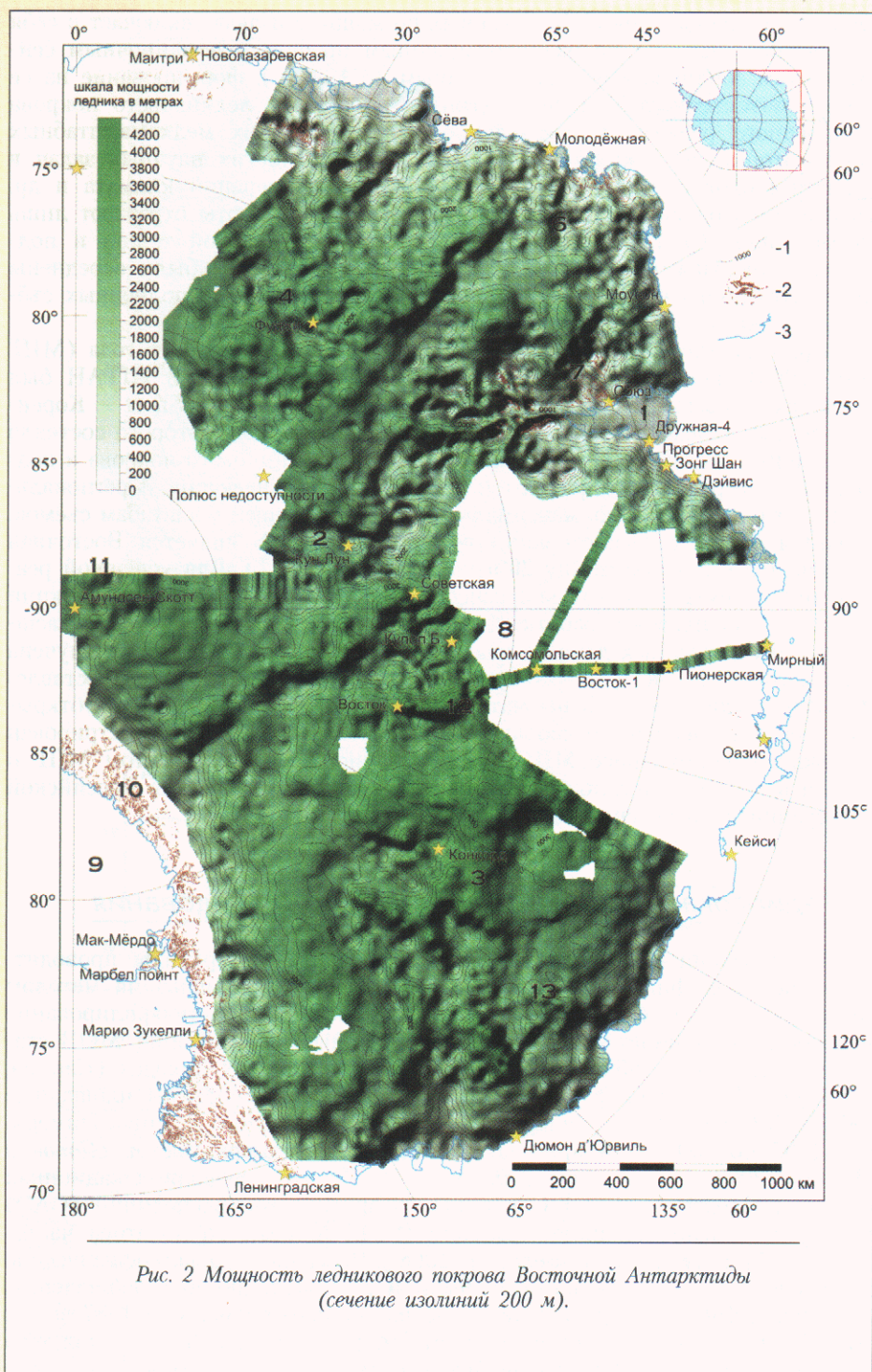
1–3: данные отечественных исследований. 1 – пункты сейсмических зондирований МОВ; 2 – площади аэрогеофизических съёмок масштаба 1:500 000; 3 – аэроадиолокационные и наземные маршруты; 4–5: данные зарубежных исследований, полученные из база данных проекта BEDMAP. – пункты сейсмических зондирований МОВ; 5 – аэроадиолокационные маршруты. 6–7 – данные зарубежных исследований, переданные в проект ABRIS организациям исполнителями. 6 – аэроадиолокационные маршруты; 7 – площади аэрогеофизических съёмок масштаба 1:700 000; 8 – береговая линия (линия налегания шельфовых ледников) по данным цифровой базы данных по Антарктике (Antarctic Digital database, 1998) и данным ПМГРЭ для озера Восток (Попов и др., 20076); 9 – горные выходы по данным цифровой базы данных по Антарктике (Antarctic Digital database, 1998); 10 – изогипсы высот дневной поверхности; сечение изолиний 200 м. Географические объекты: 1 – шельфовый ледник Эймери; 2 – Ку́пол Аргус; 3 – Ку́пол Конкордия; 4 – Ку́пол Фуджи; 5 – Земля Королевы Мод; 6 – Земля Эндерби; 7 – горы Принс-Чарльз; 8 – ледораздел В; 9 – шельфовый ледник Росса; 10 – Трансантарктические горы; 11 – Ку́пол Титан; 12 – подледниковое озеро Восток; 13 – Земля Уилкса.

является создание единой базы данных по мощности льда (включает в себя дискретные значения по радиолокационным профилям и одиночным сейсмическим зондированиям, выполненным до 1995 г.), формирование на её основе математических моделей (гридов) мощности ледникового покрова, и коренного рельефа и составление соответствующих мелкомасштабных карт, которые послужили основой для решения многих научных задач в области геологии, гляциологии, моделирования изменений климата и др. Необходимо, однако, отметить, что результирующие карты отражают лишь самые общие (региональные) черты строения ледниковой толщи и подледной поверхности, так как все полученные материалы были осреднены путём создания равномерного (независимо от масштаба выполненных съёмок) цифрового грида.

В рамках инициативы третьего Международного полярного года (МППГ 2007–2008) специалистами ПМГРЭ, ВНИИОкеангеология и ИГРАН был предложен проект ABRIS (Antarctic Bedrock Relief and Ice Sheet – Коренной рельеф и ледовый щит Антарктиды), основная цель которого состояла в создании собственной базы данных мощности ледникового покрова и подледной топографии Антарктиды и составлении обобщающих и региональных карт с детальностью, максимально соответствующей масштабам съёмок. Главным объектом исследований по проекту ABRIS является Восточная Антарктида в секторе между 20° в.д. и 160° в.д. (рис. 1). Для успешной реализации проекта и подготовки качественной картографической продукции сначала выполнялась обработка, взаимная увязка и обобщение разномасштабных отечественных данных, значительная часть которых была получена в аналоговой форме и потребовала оцифровки. Кроме того, для составления карт были использованы материалы зарубежных исследований, открытые для международного сообщества. Проект ABRIS был зарегистрирован в международном офисе МППГ, одобрен национальным комитетом МППГ и внесён в перечень предложений в научную программу участия Российской Федерации в проведении международного полярного года.

1. Радиолокационные и сейсмические исследования

Исследования мощности ледникового покрова Антарктиды проводятся в трех модификациях: точечные сейсмические зондирования методом отражённых волн (МОВ), наземное радиолокационное профилирование и аэрорадиолокационные съёмки. Отечественные исследования МОВ стали проводиться с 1958 г. в научных санно-гусеничных походах (Капица, 1960, рис. 1). В период с 1971 по 1975 гг. были выполнены площадные работы МОВ на Земле Эндерби и в районе шельфового ледника Эймери, а с 1995 по 2008 гг. в пределах подледникового озера Восток (Попов и Поздеев, 2002; Попов и др., 2007, рис. 1). Первая аэрорадиолокационная съёмка проведена в 14-ой Советской антарктической экспедиции (САЭ) в 1967 г. с использованием самолета Ил-14 и ледового локаатора частотой 213 МГц (Козлов и Федоров, 1968). Регулярные аэрогеофизические исследования, в составе которых были и радиолокационные наблюдения, начались в 1985 г. и продолжаются до настоящего времени. В 1987–91 гг. (33–36 САЭ) в центральной части Восточной Антарктиды были выполнены комплексные аэрогеофизические исследования с борта самолёта Ил-18Д,



которые закрыли значительную площадь от побережья Земли Эндерби до гор Гамбурцева (рис. 1). Для производств радиолокационных наблюдений применялись ледовые локаторы МПИ60 и ЛЛ15000 с частотой зондирующих импульсов 60 МГц (Попов и др., 2006). Плановая привязка обеспечивалась доплеровским оборудованием, радиогеодезической системой дальней навигации и спутниковой системой плановой привязки. Точность привязки составляла от 150 м до 100 м. В 1971–74 гг., 1986 и 1988 гг. (17-19, 31, 33 САЭ) аэрорадиолокационные съемки с локатором МПИ-60 выполнялись в восточной части Земли Королевы Мод и на Земле Эндерби. В качестве носителя использовались самолёты Ил-14 (Куринин и Алешкова, 1987). С 1985 г. начались планомерные аэрогеофизические исследования масштаба 1 : 500 000 в районе ледников Ламберт-Эймери (Попов и Поздеев, 2001; Попов и др., 2006).

В период 1998–2009 гг. в районе подледникового озера Восток и на трассах следования санно-гусеничных походов между станциями Мирный-Восток и Прогресс-Восток выполнялось наземное радиолокационное профилирование (рис. 1). В работах использовался ледовый локатор РЛС-60-98 с частотой зондирующих импульсов 60 МГц. Плановая привязка осуществлялась с помощью глобальной системы позиционирования (GPS; Попов и др., 2007).

При составлении карт были использованы также материалы зарубежных экспедиций, полученные из базы данных проекта BEDMAP (рис. 1). К ним относятся: (1) данные наземных сейсмических исследований США, выполненные в 1960-х; плановая привязка пунктов наблюдения осуществлялась астрономическим способом (Crary, 1962; Beitzel, 1971); (2) материалы совместных аэрогеофизических исследований США, Великобритании и Дании, выполненных в течение летних полевых сезонов 1971/72, 1974/75 и 1978 гг. на Земле Виктории и в центральной части Восточной Антарктиды; работы выполнялись на базе самолёта С-130 с использованием ледового локатора частотой 60 МГц; точность плановой привязки составила около 3 км (Drewry & Meldrum, 1978); (3) материалы японских наземных радиолокационных исследований, выполненных в районе купола Фуджи 1992–94 гг.; применялся ледовый локатор с частотой зондирующих импульсов 60 МГц; плановая привязка обеспечивалась (BEDMAP, 1999). В 2001 и 2004 гг. экспедициями США (Studinger et al., 2003) и Германии (McLean et al. 2004) были проведены комплексные аэрогеофизические съёмки с использованием радиолокационного профилирования в районе подледникового озера Восток и к югу от гор Принс-Чарльз. Материалы этих исследований переданы в проект ABRIS и использованы при построении карт.

2. Результаты исследований по проекту ABRIS

По результатам исследований в рамках проекта МПГ ABRIS составлены карты мощности ледникового покрова и подлёдного рельефа, которые формировались посредством гридирования всего объёма данных методом Inverse Distance с размером ячеек грида 5×5 км и радиусом осреднения 80 км. Методика гридирования обоснована и достаточно подробно изложена в работе (Попов и др., 2007). Подлёдный рельеф строился путем вычитания мощности ледника из дневной поверхности. На начальном этапе работ по проек-

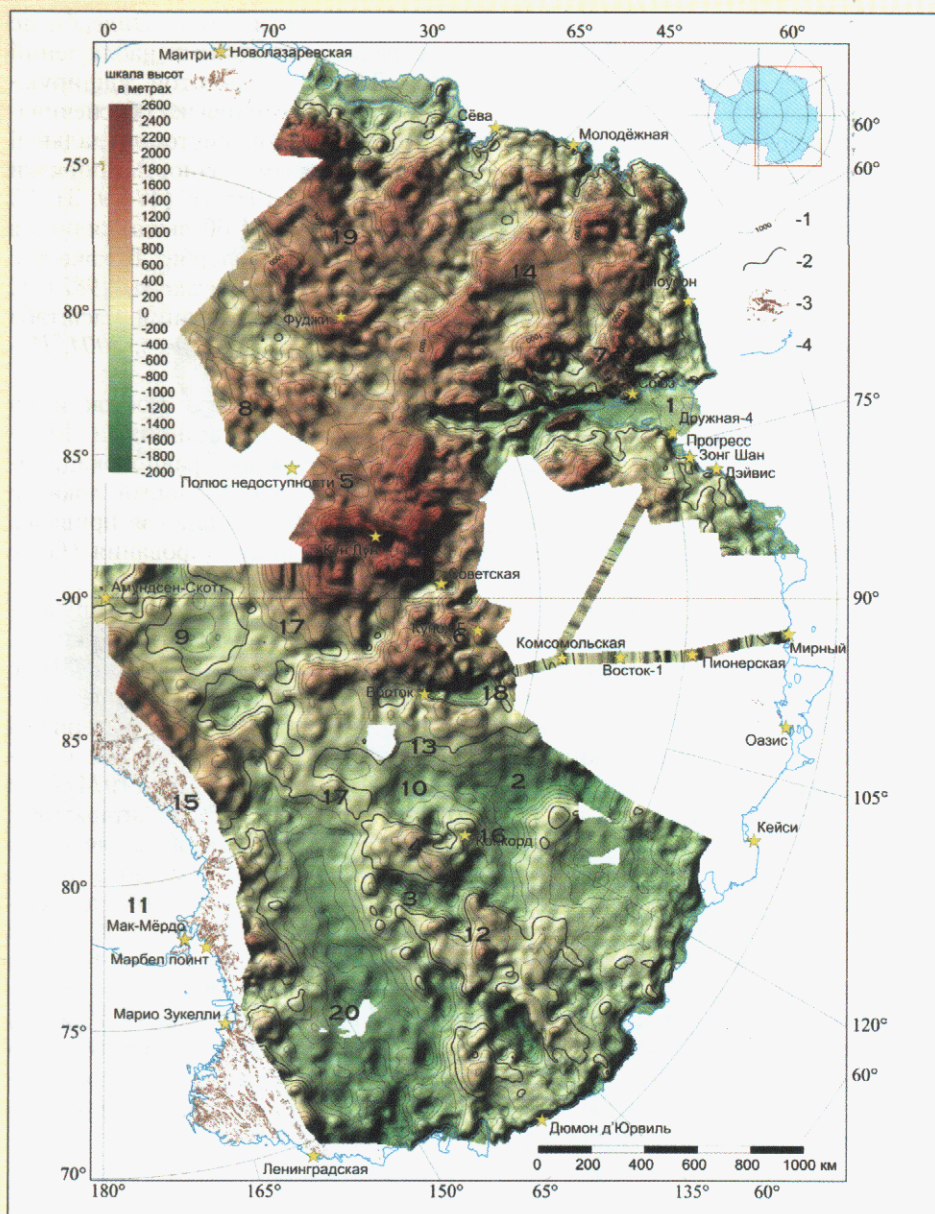


Рис. 3. Подлёдный рельеф Восточной Антарктиды (сечение изолиний 200 м)

Географические объекты: 1 – шельфовый ледник Эймери; 2 – подлёдный бассейн Аврора; 3 – желоб Адвенчер; 4 – возвышенность Бельжика; 5 – подлёдные горы Гамбурцева; 6 – подлёдные горы Комсомольские; 7 – горы Принс-Чарльз; 8 – горы Полюса недоступности; 9 – подлёдный бассейн Полярный; 10 – подлёдный желоб Пикок; 11 – шельфовый ледник Росса; 12 – возвышенность Резольюшан; 13 – равнина Шмидта; 14 – подлёдные горы Серлапова; 15 – Трансантарктические горы; 16 – котловина Винсенс; 17 – Восточная равнина; 18 – подледниковое озеро Восток; 19 – подлёдные горы Вернадского; 20 – котловина Уилкса.

ту ABRIS использовалась модель дневной поверхности, сформированная в рамках проекта GTOPO30, доступная по адресу в интернете <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>. В его основу были положены материалы спутниковых съемок ERS-1 (Gesch & Larson, 1996). При всех достоинствах модели она недостаточно точно описывает поле высот дневной

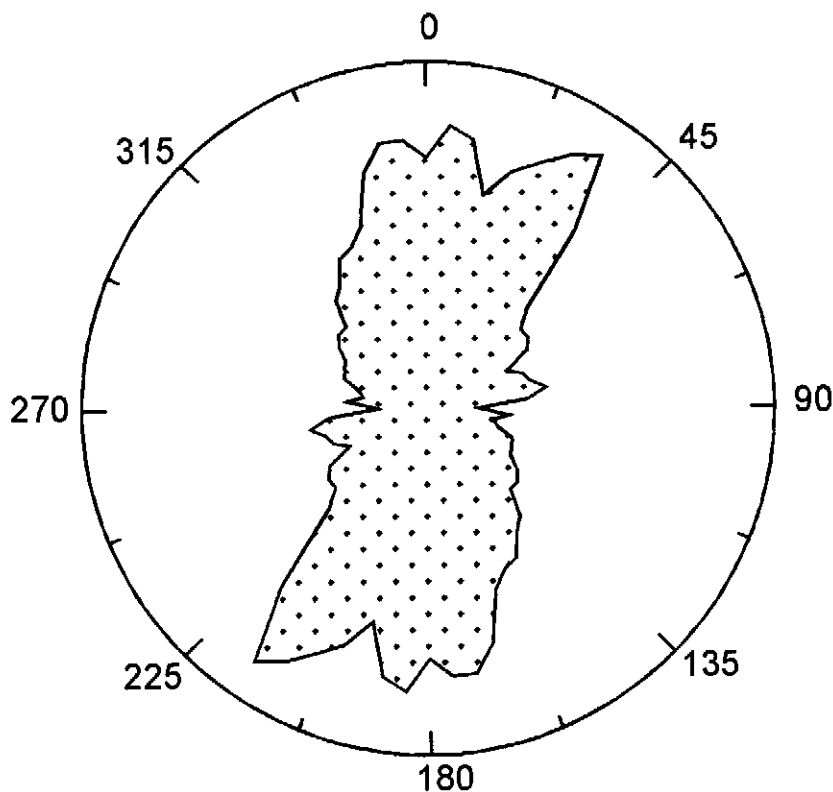


Рис.4. Роза-диаграмма простираения подлёдных структур.

поверхности шельфовых ледников и присклоновой части антарктического ледника, поэтому для расчёта модели коренного рельефа, сформированной в рамках проекта ABRIS, использовалась дневная поверхность проекта RAMP2 (Radarsat Antarctic Mapping Project Digital Elevation Model, Version 2), сформированная, главным образом, на основе материалов спутника ERS-1 и ERS-2. Данные доступны по адресу в интернет http://nsidc.org/data/docs/daac/nsidc0082_ramp_dem_v2.gd.html (Liu et al., 2001).

Мощность ледникового покрова изученной части Восточной Антарктиды изменяется от первых до более чем 4000 метров. Наименьшие значения приурочены к горным выходам и районам подлёдных гор; наибольшие соответствуют отрицательным формам рельефа: впадинам и желобам. В генеральном плане мощность ледника контролируется подлёдным ландшафтом

и нарастает от периферии к центру (рис. 2). Здесь выявлено пять горных областей. Самой западной из них являются горы Вернадского (рис. 3), которые протягиваются от побережья вглубь материка боле чем на 1000 км. На территории проведённых исследований для неё характерны высоты от 1000 до 1400 м, при относительных высотах 500–700 м. Для этой горной системы характерны преимущественно субмеридианальные простирания слагающих её форм рельефа.

К востоку от гор Вернадского, на Земле Эндерби, располагаются горы Серлапова, имеющие меридианальное простирание (рис. 3). Размеры этой горной области составляют около 1000–400 км. От гор Вернадского они отделяются обширной депрессией шириной около 100 км. В целом морфометрические параметры обеих горных систем сходны как по абсолютным, так и по относительным высотам. Восточные отроги гор Серлапова, непосредственно примыкающие к западному борту рифтовой долины Ламберта, сопрягаются с горами Принс-Чарльз, значительная часть которых обнажается на дневной поверхности (рис. 3).

В центральной части Восточной Антарктиды располагаются две отдельные горные системы: горы Гамбурцева и горы Полуса Недоступности (рис. 3). Их границы выходят за рамки построений. Горы Гамбурцева имеют значительные размеры, охватывающие площадь более чем 700 000 км² и имеют относительные высоты более 3 км. Привершинная часть гор Гамбурцева располагается на абсолютных высотах около 2000 м. С востока к ним примыкают горы Комсомольские, протяжённость которых с севера на юг, по всей видимости, составляет около 1000 км, при ширине около 300 км. Их отроги выходят к западному берегу подледникового озера Восток. Для гор Комсомольских характерны высотные отметки до 1200 м.

Территория, расположенная к востоку от гор Комсомольских и котловины озера Восток преимущественно представляет собой низменности и невысокие холмистые гряды (рис. 3) с высотами от 1500 до 500–800 м (подлёдные бассейны Полярный, Уилкса, Винсенс; желоба Адвенче и Пикок). Их днища располагаются на высоте около 750 м. На рис. 4 приводится роза-диаграмма простирания элементов подлёдного рельефа, которая отчетливо демонстрирует преобладание меридиональных и северо-восточных простираний структур коренного ложа Восточной Антарктиды.

Благодарности

Работа выполнялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 07-05-00401), подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики», ФЦП «Мировой океан» (проекты 2 и 3) и Программы Президиума РАН 16, часть 2 (проект 3.3).

Литература

- Катица А.П. 1960. Новые данные о мощности ледникового покрова центральных районов Антарктиды. Бюлл. САЭ, т. 19, с. 10–15.
- Козлов А.И., Федоров Б.А. 1968. Радиолокационное зондирование антарктических ледников летом 1967/68 г. Бюлл. САЭ, вып. 71, с. 53–57.
- Куришин Р.Г., Алешкова Н.Д. 1987. Коренной рельеф Земли Эндерби, Земли Мак-Робертсона и Земли принцессы Елизаветы в Восточной Антарктиде. Антарктика, вып. 26, с. 62–65.
- Попов С.В., Масолов В.Н., Волнухин В. С. 2006. 40 лет отечественным радиолокационным исследованиям в Антарктиде. Программа и тезисы докладов на научной конференции «Россия в Антарктике», 12–14 апреля 2006 г., г. С. Петербург, с. 189.
- Попов С.В., Масолов В.Н., Лукин В.В., Потков А.М. 2007а. Отечественные сейсмические и наземные радиолокационные исследования в Центральной Антарктиде накануне Международного полярного года 2007–2008. МГИ, вып. 103, с. 107–117.
- Попов С.В., Поздеев В.С. 2002. Ледниковый покров и коренной рельеф района гор Принс-Чарльз (Восточная Антарктида). МГИ, вып. 93, с. 205–214.
- Попов С.В., Харитонов В.В., Масолов В. Н., Лейченко Г.Л., Котляков В.М., Москалевский М.Ю. 2007. Проект ABRIS: ледниковый покров и коренной рельеф района куполов Аргус, Конкордия, Титан и Фуджи (Восточная Антарктида). МГИ, вып. 103, с. 75–86.
- Antarctic Digital Database (ADD). 1998. Version 2.0. Manual and bibliography, Scientific Committee on Antarctic Research, British Antarctic Survey, Cambridge.
- BEDMAP. 1996. Report of the 1st BEDMAP Workshop on Antarctic Bed Mapping. Cambridge.
- BEDMAP. 1999. Report of the 2nd BEDMAP Workshop on Antarctic Bed Mapping. Cambridge.
- Beitzel J. 1971. Geophysical exploration in Queen Maud Land, Antarctica. In: Crary A.P. (ed) AGU Antarctic Research Series, No 16, pp. 39–87.
- Crary A.P., Robinson E.S. 1962. Oversnow traverses from McMurdo to the South Pole. Science, No 135, pp. 291–295.
- Drewry D.J., Meldrum D.T. 1978. SPRI Folio Series. Pol. Rec. 19 (120), pp. 267–278.
- Gesch D.B., Larson K.S. 1996. Techniques for development of global 1-kilometer digital elevation models. Pecora Thirteen. Human Interactions with the Environment – Perspectives from Space, Sioux Falls, South Dakota.
- Liu H., Jezek K., Li B., Zhao Z. 2001. Radarsat Antarctic Mapping Project digital elevation model version 2. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media.
- Lythe M.B., Vaughan D.G. and BEDMAP Consortium. 2000. BEDMAP- bed topography of the Antarctic, 1:10 000 scale map. BAS (Misc) 9. Cambridge: British Antarctic Survey.
- McLean M., Damaske D., Damm V., Reitmayr G. 2004. Airborne gravity data acquisition and processing: A case study in the Prince Charles Mountains, East Antarctica. Abstracts from the ASEG-PESA Airborne Gravity 2004 Workshop, Sydney 2004, Record 2004/18, pp. 99–110.
- Studinger M., Bell R., Karner G.D., Tikku A.A., Holt J.W., Morse D.L., Richter T. G., Kempf S.D., Peters M.E., Blankenship D. D., Sweeney R.E., Rystrom V.L. 2003. Ice cover, landscape setting and geological framework of Lake Vostok, East Antarctica. Earth Planet. Sci. Lett., 205, pp. 195–210.

Ice thickness and bedrock topography of East Antarctica (results of IPY Project)

**S.V. Popov¹, G.L. Leitchenkov², V.N. Masolov¹,
V.M. Kotlyakov³, M.Ju. Moskalevsky³**

1 - Polar Marine Geosurvey Expedition (PMGE), St.-Petersburg, Lomonosov, Russia

*2 - Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean (VNIIOkeangeologia),
St. Petersburg, Russia*

3 - Institute of Geography, Russian Academy of Science (IGRAS), Moscow, Russia.

Abstract

New ice thickness and bedrock topography maps have been compiled for the part of East Antarctica (between 20°E and 160°E) within the IPY Project ABRIS (Antarctic Bedrock Relief and Ice Sheet). For compilation of maps, ice-thickness data collected during the Soviet/Russian Expeditions from 1966 to 2008 and data collected by different foreign organizations and obtained from the international data bases were used.