

УДК: 51-7+528.94+551.4+912.44

DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-53-79

И. В. Флоринский¹**ПРОЕКТ ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКОГО АТЛАСА
СВОБОДНЫХ ОТ ОЛЕДЕНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ
АНТАРКТИКИ****АННОТАЦИЯ**

В статье аргументирована необходимость создания фундаментального картографического произведения — физико-географического тематического научно-справочного геоморфометрического атласа свободных от оледенения территорий Антарктики. Геоморфометрическое атласное картографирование этих территорий необходимо для получения новых знаний о количественных характеристиках рельефа этих уникальных объектов и дальнейшего использования морфометрической информации для решения фундаментальных и прикладных задач наук о Земле. Приведены основные положения концепции атласа. Определен список территорий, подлежащих геоморфометрическому картографированию. В качестве исходных данных для расчетов будут использоваться фрагменты цифровой модели рельефа Reference Elevation Model of Antarctica. Для каждой территории в атласе будут представлены следующие карты и материалы: 1) серия морфометрических карт (крутизна, горизонтальная кривизна, вертикальная кривизна, минимальная кривизна, максимальная кривизна, несферичность, водосборная площадь, топографический индекс влажности, индекс мощности потоков, индекс защищенности от ветра и др.); 2) производные от морфометрических тематические карты (классификация форм рельефа, геологические линеаменты и др.); 3) текстовый справочный материал и таблицы. Разрабатываемый атлас сконцентрирует мультимасштабную многоаспектную количественную информацию о рельефе свободных от оледенения территорий Антарктики, представит ее в систематизированной, организованной и хорошо читаемой форме, обеспечит научно-информационную поддержку фундаментальных и прикладных исследований Антарктики, а также будет способствовать реализации геополитических интересов России в южном полярном регионе. Работы по созданию геоморфометрического атласа свободных от оледенения территорий Антарктики имеют мировую научную новизну и закрепляют российский приоритет в данном направлении исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рельеф, цифровая модель рельефа, атлас, Антарктика

¹ Институт математических проблем биологии РАН – Филиал ФИЦ «Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН», ул. Профессора Виткевича, д. 1, Пущино, Московская обл., Россия, 142290,
e-mail: iflor@mail.ru

Igor V. Florinsky¹

A PROJECT OF A GEOMORPHOMETRIC ATLAS OF ICE-FREE ANTARCTIC TERRITORIES

ABSTRACT

In this article we argue for the need to create a geomorphometric atlas of ice-free Antarctic territories. Geomorphometric mapping of these territories is necessary to obtain new knowledge about quantitative characteristics of the topography of these unique objects and the further use of morphometric information to solve fundamental and applied problems of the geosciences. Key principles of the atlas concept are presented. A list of territories subject to geomorphometric mapping is completed. Fragments of the Reference Elevation Model of Antarctica will be used as initial data for calculations. For each territory, the atlas will present the following materials: 1) a series of morphometric maps (slope, horizontal curvature, vertical curvature, minimum curvature, maximum curvature, unsphericity, catchment area, topographic wetness index, stream power index, wind exposition index, etc.); 2) morphometry-derived thematic maps (landform classification, geological lineaments, etc.); 3) text reference materials. The atlas will concentrate multi-scale, multi-aspect quantitative information on the topography of ice-free Antarctic territories, present it in a systematized, organized, and easy-to-read form, provide scientific and information support for fundamental and applied research in Antarctica, and will also contribute to the implementation of Russia's geopolitical interests in the southern polar region. Work on the creation of a geomorphometric atlas of ice-free Antarctic territories is of world scientific novelty and consolidates Russian priority in this area of research.

KEYWORDS: topography, digital elevation model, atlas, Antarctica

ВВЕДЕНИЕ

К свободным от оледенения областям Антарктики обычно относят три основных типа территорий [Симонов, 1971; Александров, 1985; Сократова, 2010]:

1. Антарктические оазисы, т. е. свободные от ледникового покрова прибрежные, пришельфовые и горные участки Антарктиды. Прибрежные оазисы располагаются между материковым ледниковым щитом и океаном, пришельфовые оазисы — между материковым ледниковым щитом и шельфовыми ледниками, а горные оазисы — во внутригорных долинах и впадинах.
2. Свободные от ледникового покрова острова (или их участки), расположенные за пределами шельфовых ледников.
3. Свободные от ледникового покрова горные хребты и их участки, а также нунатаки (отдельно стоящие скалы, со всех сторон окруженные льдом).

Механизм возникновения и длительного устойчивого самоподдерживающегося существования свободных от ледникового покрова территорий в зоне крупнейшего на Земле покровного оледенения полностью до сих пор не ясен. Применительно к прибрежным и пришельфовым оазисам может быть принята следующая гипотеза [Александров, 1985]. В местах расчлененного коренного рельефа по подледным долинам происходит ускоренный отток льда в океан. Над соседними поднятиями ложа ледникового покрова, где скорости движения ледника невелики, абляция не успевает компенсироваться притоком

¹ Institute of Mathematical Problems of Biology, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, 1, Professor Vitkevich str., Pushchino, Moscow Region, 142290, Russia, e-mail: iflor@mail.ru

льда. В результате обнажаются коренные породы, тепловой режим которых резко отличается от режима снежно-ледовой поверхности, что приводит к их усиленному нагреванию и таянию снега и льда вокруг. Низкая влажность воздуха способствует испарению влаги и таянию льда и снега, особенно на северных склонах. В образовавшихся оазисах сальдо бюджета вещества в среднем близко к нулю, т. к. снег сносится ветром в море, а лед обладает меньшим альбедо, что приводит к усилению летнего таяния.

Особенностью оазисов и свободных от ледникового покрова островов является наличие в летний период систем ручьев и озер, причем некоторые озера не промерзают и зимой. Для всех типов свободных от оледенения областей Антарктики характерно развитие примитивных почв [The Soils of Antarctica, 2015] и примитивной растительности [Øvstedal, Lewis Smith, 2001; Ochyra et al., 2008].



Рис. 1. Обзорная карта Антарктики¹. Светло-коричневым цветом показаны свободные от оледенения территории
 Fig. 1. Antarctica Overview Map. Light brown areas are ice-free territories

¹ Antarctica Overview Map. British Antarctic Survey, US Geological Survey (с изменениями). Электронный ресурс: https://lima.usgs.gov/documents/LIMA_overview_map.pdf (дата обращения 01.03.2024)

По различным оценкам общая площадь свободных от оледенения территорий составляет от 0,3 % до 1 % площади Антарктиды (рис. 1), т. е. приблизительно от 50 000 км² до 150 000 км² при средней площади оазиса 300 км². Несмотря на относительно небольшие размеры, эти территории имеют важное научное и практическое значение. Так, благодаря своей относительной доступности, оазисы удобны для строительства круглогодичных полярных станций и сезонных полевых баз; в оазисах и на островах проводится большинство сезонных научных работ [Сократова, 2010].

Рельеф является важнейшим компонентом географической оболочки. Будучи результатом взаимодействия эндо- и экзогенных процессов различного масштабного уровня и отражая геологическое строение, рельеф определяет предпосылки миграции и аккумуляции влаги и других веществ вдоль поверхности и в приповерхностном слое под действием гравитации, контролирует тепловой, гидрологический и ветровой режимы, распределение почвенного и растительного покрова и пр. На современном этапе строгость и воспроизводимость исследований рельефа обеспечивает геоморфометрия — научная дисциплина с развитой физико-математической теорией и мощным аппаратом вычислительных методов, предметом которой является моделирование и анализ рельефа, а также взаимосвязей между рельефом и другими компонентами геосистем [Geomorphometry..., 2009; Florinsky, 2016]. Методы геоморфометрии широко применяются для решения различных разномасштабных задач наук о Земле [Флоринский, 2021; Terrain analysis..., 2000; Geomorphometry..., 2009; Florinsky, 2016].

Геоморфометрическое картографирование свободных от оледенения территорий Антарктики перспективно как для получения новых знаний о количественных характеристиках рельефа этих уникальных объектов, так и для дальнейшего использования морфометрической информации для решения фундаментальных и прикладных задач геоморфологии, геологии, почвоведения, экологии, геофизики, гляциологии, климатологии и других наук о Земле. Для ряда свободных от оледенения территорий Антарктики (холмы Ларсеманн и Тала, оазис Ширмахера, п-ов Файлдс) работы по геоморфометрическому картографированию были проведены нами ранее [Florinsky, 2023a, 2023b]. Однако вопрос о геоморфометрическом картографировании таких территорий необходимо ставить масштабнее и комплексно: целесообразно создание геоморфометрического атласа всех свободных от оледенения территорий Антарктики. Создание такого атласа позволит обобщить и систематизировать региональную морфометрическую информацию в традиционной для наук о Земле форме.

За многие годы картографирования южной полярной области [Clancy et al., 2014] был создан ряд комплексных физико-географических научно-справочных атласов Антарктики. Часть из них сегодня представляют лишь исторический интерес [Атлас Антарктики, 1966, 1969; Atlas Antártico, 1993]. Актуальным фундаментальным картографическим произведением остается один из томов серии «Атлас океанов» [Атлас океанов. Антарктика, 2005], но значительная часть представленных в нем карт выполнена в мелких масштабах, а геоморфометрическая информация отсутствует.

Известны три тематических физико-географических научно-справочных атласа Антарктики. Серия мелкомасштабных морфологических карт подледно-подводного рельефа и ряд традиционных геоморфологических карт ряда оазисов представлены в атласе [Антарктика. Геоморфологический атлас, 2011], при создании которого была реализована неоднозначная морфодинамическая парадигма его главного редактора [Ласточкин, 2006]. Еще два атласа содержат мелкомасштабные карты рельефа Антарктики, полученные на основе геостатистического анализа данных спутниковой радиолокационной альтиметрии [Herzfeld, 2004], а также мелкомасштабные карты гравитационного поля Антарктики [Klokočník et al., 2017]. Геоморфометрический компонент в этих атласах отсутствует.

Геологическая служба США создала и поддерживает геопортал, посвященный Антарктике¹. Геопортал позволяет проводить визуализацию различных информационных слоев, за исключением геоморфометрических данных. Геопортал REMA Explorer², обеспечивающий работу с цифровой моделью рельефа (ЦМР) Reference Elevation Model of Antarctica (REMA) [Howat et al., 2019], позволяет проводить визуализацию рассчитанных по REMA двух морфометрических слоев (крутизна и экспозиция) на всю территорию Антарктиды. Однако, во-первых, инструменты этого геопортала не позволяют искать или выделять территории по признаку отсутствия оледенения (например оазисы), и, во-вторых, для проведения научных исследований с использованием морфометрической информации явно недостаточно карт только двух указанных морфометрических величин.

В рамках реализации «Стратегии развития деятельности Российской Федерации в Антарктике до 2030 года»³ Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных должен вести работы по созданию геоинформационной системы Антарктиды, в частности обобщенной базы данных по геодезии, картографии, геологии и гляциологии. Предполагаем, что в результате к 2030 г. может быть создан аналог геопортала Геологической службы США, в котором также будет отсутствовать геоморфометрический компонент.

Ранее неоднократно обсуждалась идея создания геоморфометрических атласов мира [Guth, 2007; Csillik, Drăguț, 2018]. На региональном уровне первым удачным опытом геоморфометрического атласного картографирования стал реализованный в форме геопортала геоморфометрический атлас Румынии [Ioniță et al., 2024]. Этот атлас включает в себя карты ряда морфометрических величин (крутизна, экспозиция, горизонтальная и вертикальная кривизна и др.), а также нескольких вариантов классификаций форм рельефа (например геоморфон). Карты рассчитаны по ЦМР FABDEM с шагом сетки 30, 330 и 810 м.

Целью нашей статьи является аргументация необходимости создания геоморфометрического атласа свободных от оледенения территорий Антарктики, разработка основных положений концепции этого атласа, а также определение и каталогизация всех картографируемых территорий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Конечной целью работы является создание физико-географического тематического научно-справочного геоморфометрического атласа свободных от оледенения территорий Антарктики. Атлас будет включать в себя следующие разделы:

- Вводный раздел.
- 20 региональных разделов:
 - 1) Земля Королевы Мод.
 - 2) Земля Эндерби.
 - 3) Земля Кемпа.
 - 4) Земля Мак-Робертсона.
 - 5) Земля Принцессы Елизаветы.
 - 6) Земля Вильгельма II.
 - 7) Земля Королевы Мэри.
 - 8) Земля Уилкса.

¹ USGS Antarctic Research Atlas. Электронный ресурс: https://lima.usgs.gov/antarctic_research_atlas/ (дата обращения 01.03.2024)

² REMA Explorer. Электронный ресурс: <https://rema.apps.pgc.umn.edu/> (дата обращения 01.03.2024)

³ План мероприятий по реализации Стратегии развития деятельности Российской Федерации в Антарктике до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 30 июня 2021 г. № 1767-р. Собрание законодательства Российской Федерации, 2021. № 28 (ч. II). Ст. 5579

- 9) Земля Георга V.
 - 10) Земля Отса.
 - 11) Земля Виктории.
 - 12) Трансантарктические горы.
 - 13) Земля Мэри Бэрд.
 - 14) Земля Элсуэрта.
 - 15) Земля Александра I.
 - 16) Земля Палмера.
 - 17) Земля Грейама.
 - 18) Южные Шетландские острова.
 - 19) Земля Королевы Елизаветы.
 - 20) Земля Котса.
- Справочные таблицы.
 - Список литературы.
 - Указатель географических названий.

Картографируемые свободные от оледенения территории будут сгруппированы по региональным разделам. Для определения перечня этих территорий (табл. 1) нами были проанализированы следующие материалы:

- 1) австралийские и американские топографические карты Антарктики масштабов 1: 1 000 000, 1: 250 000, 1: 50 000 и 1: 25 000;
- 2) мозаика космоснимков, представленная на геопортале REMA Explorer;
- 3) информация, представленная на Антарктическом геопортале Геологической службы США;
- 4) профильная литература.

По мозаике космоснимков REMA Explorer нами была составлена серия из 24-х фотокарт с обозначением всех выделенных свободных от оледенения территорий. Схема разграфки фотокарт представлена на рис. 2, а серия фотокарт — на рис. 3.

Для каждой свободной от ледникового покрова территории в атласе будут представлены следующие карты и материалы:

1. Серия морфометрических карт. Будут рассчитываться и картографироваться следующие морфометрические величины: крутизна, горизонтальная кривизна, вертикальная кривизна, минимальная кривизна, максимальная кривизна, несферичность, водосборная площадь, топографический индекс влажности, индекс мощности потоков, индекс защищенности от ветра и др. Физико-математические и физико-географические интерпретации указанных морфометрических величин приведены в [Florinsky, 2016]. Примеры серий морфометрических карт антарктических оазисов — в [Florinsky, 2023a, 2023b].
2. Производные от морфометрических тематические карты. Будут строиться следующие карты: классификация форм рельефа, геологические линеаменты и др.
3. Текстовый справочный материал (методические пояснения к картам, физико-географические интерпретации морфометрических карт и др.).

В атласе будут использоваться следующие рабочие масштабы и проекции:

- 1: 10 000 000, полярная стереографическая проекция — для одной обзорной карты рельефа Антарктики с использованием цифровой отмывки;
- 1: 1 000 000, равноугольная коническая проекция Ламберта — для одной обзорной карты рельефа (цифровая отмывка) для каждого раздела атласа (региона Антарктики).

- 1: 100 000 / 1: 50 000 / 1: 25 000, универсальная поперечная проекция Меркатора — для серии морфометрических и производных тематических карт для каждой территории, в зависимости от размеров территории и читаемости рассчитываемых карт.

В качестве исходных данных для геоморфометрических расчетов будут использоваться фрагменты ЦМР REMA с шагом сетки 2, 8 и 10 м [Howat et al., 2019]. ЦМР REMA¹ построена на основе сотен тысяч отдельных локальных ЦМР, полученных фотограмметрическим путем по стереопарам снимков космических аппаратов WorldView-1, WorldView-2 и WorldView-3 субметрового пространственного разрешения (от 0,32 до 0,5 м), полученных в летние периоды 2009–2021 гг. Каждая отдельная ЦМР регистрировалась по вертикали по данным спутниковых альтиметрических измерений с космических аппаратов Cryosat-2 и ICESat. В результате абсолютная ошибка ЦМР REMA не превышает 1 м на большей части площади покрытия, а относительная ошибка составляет дециметры [Howat et al., 2019]. На сегодняшний день REMA является наиболее полной и точной ЦМР территории Антарктиды.

Табл. 1. Свободные от оледенения территории Антарктики (см. рис. 2 и 3)
Table 1. Ice-free Antarctic territories (see figs. 2 and 3)

Номера фотокарт (римск.) и территорий (арабск.)	Регион (курсив), название территории и ее тип	Географические координаты условного центра территории
I	<i>Земля Королевы Мод</i>	
1	Гбурек, горы	72,19071° ю. ш., 0,33728° з. д.
2	Свердупфьела, горы	72,49954° ю. ш., 0,86334° в. д.
3	Ельсвикфьелла, горы	72,16798° ю. ш., 2,79840° в. д.
4	Мюлиг-Хофманн, горы	72,02310° ю. ш., 5,58629° в. д.
5	Фильхнер, горы	72,00842° ю. ш., 7,51696° в. д.
6	Курце, горы	71,87007° ю. ш., 8,89116° в. д.
7	Конрад, горы	71,84385° ю. ш., 9,69159° в. д.
8	Гумбольдта, горы	71,73975° ю. ш., 11,49972° в. д.
9	Вольтат, массив	71,64117° ю. ш., 12,25986° в. д.
10	Унтерзе, оазис	71,34897° ю. ш., 13,45676° в. д.
11	Вейпрехт, горы	72,00571° ю. ш., 13,39693° в. д.
12	Пайер, горы	71,98383° ю. ш., 14,58366° в. д.
13	Ломоносова, горы	71,49440° ю. ш., 15,47366° в. д.
14	Ширмахера, оазис	70,75863° ю. ш., 11,63975° в. д.
II	<i>Земля Королевы Мод</i>	
15	Сёр-Рондане, горы	72,07342° ю. ш., 25,12917° в. д.
16	Бельжика, горы	72,60218° ю. ш., 31,28041° в. д.
17	Куин-Фабиола, горы	71,54932° ю. ш., 35,68163° в. д.
III	<i>Земля Королевы Мод – Земля Эндерби</i>	
18	Руннвогсколлане, скалы	69,91214° ю. ш., 39,02842° в. д.
19	Скаллевикхалсен, скалы	69,66762° ю. ш., 39,43763° в. д.

¹ REMA. Электронный ресурс: <https://www.pgc.umn.edu/data/rema/> (дата обращения 01.03.2024)

Номера фотокарт (римск.) и территорий (арабск.)	Регион (курсив), название территории и ее тип	Географические координаты условного центра территории
20	Скарвснес, п-ов	69,47392° ю. ш., 39,68363° в. д.
21	Лангховде, холмы	69,22389° ю. ш., 39,69693° в. д.
22	Флатвер, о-ва	69,02852° ю. ш., 39,54379° в. д.
23	Хиноде, м.	68,15075° ю. ш., 42,68939° в. д.
24	Полканова, холмы	67,97402° ю. ш., 44,06999° в. д.
25	Терешковой, оазис	67,95424° ю. ш., 44,55420° в. д.
26	Коновалова, горы	67,75899° ю. ш., 45,76434° в. д.
27	Молодёжный, оазис	67,66987° ю. ш., 45,87278° в. д.
28	Вечерний, оазис	67,65804° ю. ш., 46,11360° в. д.
IV	<i>Земля Эндерби</i>	
29	Германо-советской дружбы, горы	67,98680° ю. ш., 47,36288° в. д.
30	Най, горы	68,14730° ю. ш., 49,04672° в. д.
31	Раггатт, горы	67,72608° ю. ш., 49,12536° в. д.
32	Файф, холмы	67,36599° ю. ш., 49,23295° в. д.
33	Скотта, горы	67,49827° ю. ш., 50,46000° в. д.
34	Тьюла, горы	66,95319° ю. ш., 51,32388° в. д.
35	Нейпиер, горы	66,51256° ю. ш., 53,64992° в. д.
V	<i>Земля Кемпа</i>	
36	Леки, хр.	67,91636° ю. ш., 56,46961° в. д.
37	Кварс, м.	67,03474° ю. ш., 57,03544° в. д.
38	Эйгарен, о-ва	66,96244° ю. ш., 57,56056° в. д.
39	Стиллуэлл, холмы	67,39222° ю. ш., 59,44065° в. д.
40	Стамп, г.	67,46772° ю. ш., 60,97262° в. д.
41	Уфс, о.	67,48211° ю. ш., 61,13982° в. д.
42	Дейвид, хр.	67,85738° ю. ш., 62,52450° в. д.
43	Массон, хр.	67,84066° ю. ш., 62,84619° в. д.
VI	<i>Земля Мак-Робертсона</i>	
44	Принс-Чарльз, горы	70,78079° ю. ш., 66,35888° в. д.
45	Джетти, оазис	70,81579° ю. ш., 68,12083° в. д.
46	Блейк, нунатаки	74,23840° ю. ш., 67,11461° в. д.
47	Кампстон, массив	73,61873° ю. ш., 66,75461° в. д.
48	Моусона, обр.	73,10501° ю. ш., 68,21482° в. д.
49	Клеменс, массив	72,19473° ю. ш., 68,63958° в. д.
50	Рейнболт, холмы	70,48101° ю. ш., 72,53746° в. д.
51	Мистичелли, холмы	70,03499° ю. ш., 72,83590° в. д.
52	Лендинг, утес	69,74317° ю. ш., 73,71167° в. д.
53	Гров, горы	72,89365° ю. ш., 75,05047° в. д.
VII	<i>Земля Принцессы Елизаветы</i>	
54	Бёлингенёйа, о-ва	69,45033° ю. ш., 75,71897° в. д.
55	Ларсеманн, холмы	69,39450° ю. ш., 76,31772° в. д.
56	Рёуэр, о-ва	68,83439° ю. ш., 77,81831° в. д.

Номера фотокарт (римск.) и территорий (арабск.)	Регион (курсив), название территории и ее тип	Географические координаты условного центра территории
57	Вестфолл, оазис	68,57153° ю. ш., 78,17928° в. д.
VIII	<i>Земля Вильгельма II – Земля Королевы Мэри</i>	
58	Гауссберг, г.	66,80408° ю. ш., 89,19631° в. д.
59	Хасуэлл, о-ва	66,52617° ю. ш., 92,99577° в. д.
IX	<i>Земля Королевы Мэри – Земля Уилкса</i>	
60	Обручева, холмы	66,56093° ю. ш., 99,84070° в. д.
61	Хайджамп, холмы	66,06099° ю. ш., 100,66434° в. д.
62	Бангера, оазис	66,26764° ю. ш., 100,86504° в. д.
63	Браунинг, п-ов	66,46909° ю. ш., 110,54866° в. д.
64	Бейли, п-ов	66,29294° ю. ш., 110,55327° в. д.
X	<i>Земля Георга V</i>	
65	Денисон, м.	67,00904° ю. ш., 142,66538° в. д.
66	Хорн, утес	68,38860° ю. ш., 149,78208° в. д.
67	СКАР, утесы	68,81302° ю. ш., 153,53338° в. д.
XI	<i>Земля Отса</i>	
68	Лазарева, горы	69,44490° ю. ш., 157,18452° в. д.
69	Уилсон, холмы	69,55913° ю. ш., 158,30665° в. д.
70	Холладей, нунатаки	69,53032° ю. ш., 159,32131° в. д.
XII	<i>Земля Отса – Земля Виктории</i>	
71	ЮСАРП, горы	71,28672° ю. ш., 160,26706° в. д.
72	Бауэрс, горы	71,19928° ю. ш., 163,18917° в. д.
73	Конкорд, горы	71,25353° ю. ш., 166,91001° в. д.
74	Фрейберг, горы	72,26214° ю. ш., 163,55320° в. д.
75	Адмиралти, горы	71,70077° ю. ш., 169,35384° в. д.
76	Виктори, горы	72,67712° ю. ш., 168,43169° в. д.
77	Меса, хр.	73,22919° ю. ш., 162,81079° в. д.
78	Дип-Фриз, хр.	74,23594° ю. ш., 163,58338° в. д.
79	Эйзенхауэр, хр.	74,36801° ю. ш., 162,56545° в. д.
XIII	<i>Земля Виктории</i>	
80	Рикер, холмы	75,68314° ю. ш., 159,25865° в. д.
81	Принс-Альберт, горы	76,76219° ю. ш., 160,76997° в. д.
82	Мак-Мердо, долины	77,45272° ю. ш., 161,72625° в. д.
83	Ройал-Сосайети, хр.	78,05319° ю. ш., 162,86601° в. д.
84	Дентон, холмы	78,12376° ю. ш., 163,97833° в. д.
85	Росса, п-ов	77,54762° ю. ш., 167,16211° в. д.
86	Дисковери, г.	78,34179° ю. ш., 165,23764° в. д.
87	Уоррен, хр.	78,39340° ю. ш., 158,32048° в. д.
88	Бумеранг, хр.	78,56511° ю. ш., 158,78751° в. д.

Номера фотокарт (римск.) и территорий (арабск.)	Регион (курсив), название территории и ее тип	Географические координаты условного центра территории
XIV	<i>Земля Виктории</i>	
89	Кука, горы	79,47427° ю. ш., 158,48418° в. д.
90	Дарвин, горы	79,47427° ю. ш., 158,48418° в. д.
91	Британния, хр.	80,17766° ю. ш., 157,78339° в. д.
92	Черчилл, горы	81,56919° ю. ш., 158,82292° в. д.
93	Сервейерс, хр.	81,73777° ю. ш., 159,88110° в. д.
94	Наш, хр.	80,89228° ю. ш., 158,19967° в. д.
95	Холиок, хр.	82,26022° ю. ш., 160,25738° в. д.
96	Кобем, хр.	82,35294° ю. ш., 159,21239° в. д.
XV	<i>Трансантарктические горы</i>	
97	Джеолоджист, хр.	82,47914° ю. ш., 155,85908° в. д.
98	Миллер, хр.	83,09903° ю. ш., 156,94750° в. д.
99	Куин-Элизабет, хр.	83,32849° ю. ш., 161,55652° в. д.
100	Холленд, хр.	83,18688° ю. ш., 166,02209° в. д.
101	Куин-Александра, хр.	84,07468° ю. ш., 167,14550° в. д.
102	Доминион, хр.	85,33201° ю. ш., 166,94308° в. д.
103	Дроннинг-Модс-Фьелль, горы	84,62216° ю. ш., 172,34636° в. д.
104	Хьюс, хр.	84,38594° ю. ш., 174,54274° в. д.
105	Кронпринс-Улаф, горы	84,95509° ю. ш., 174,67127° з. д.
106	Росон, горы	86,47909° ю. ш., 156,06823° з. д.
107	Хорлик, горы	85,89615° ю. ш., 128,14237° з. д.
XVI	<i>Земля Мэри Бэрд</i>	
108	Фосдик, горы	76,50716° ю. ш., 145,20621° з. д.
109	Форд, хр.	76,96917° ю. ш., 145,13782° з. д.
110	Эриксон, утесы	75,02302° ю. ш., 136,67668° з. д.
111	Беркс, м.	74,75846° ю. ш., 136,81514° з. д.
112	Димас, хр.	75,04530° ю. ш., 133,76415° з. д.
113	Флад, хр.	76,03680° ю. ш., 135,16703° з. д.
114	Эймс, хр.	75,76550° ю. ш., 132,30298° з. д.
115	МакКаддин, горы	75,73630° ю. ш., 129,16838° з. д.
116	Эгзекьютив-Коммитти, хр.	77,07196° ю. ш., 125,91917° з. д.
XVII	<i>Земля Элсуэрта</i>	
117	Хадсон, горы	74,63586° ю. ш., 99,42615° з. д.
XVIII	<i>Земля Элсуэрта</i>	
118	Тил, горы	85,19731° ю. ш., 90,23627° з. д.
119	Уитмор, горы	82,48111° ю. ш., 103,77870° з. д.
120	Наш, холмы	81,92911° ю. ш., 89,61358° з. д.
121	Пиррит, холмы	81,13601° ю. ш., 85,51966° з. д.
122	Элсуэрт, горы	78,91080° ю. ш., 84,56665° з. д.

Номера фотокарт (римск.) и территорий (арабск.)	Регион (курсив), название территории и ее тип	Географические координаты условного центра территории
XIX	<i>Земля Александра I – Земля Палмера</i>	
123	Дебюсси, возв.	69,90916° ю. ш., 71,31294° з. д.
124	Хорнпайп, возв.	69,87550° ю. ш., 70,58434° з. д.
125	Люлли, возв.	70,79477° ю. ш., 69,63323° з. д.
126	Стаккато, пики	71,76149° ю. ш., 70,58631° з. д.
127	Аблейшен, дол.	70,79918° ю. ш., 68,44435° з. д.
128	Ганимед, возв.	70,88166° ю. ш., 68,41346° з. д.
129	Элефант, хр.	71,35204° ю. ш., 68,32555° з. д.
130	Хоррокс, г.	71,58709° ю. ш., 68,31923° з. д.
131	Марс, оазис	71,87370° ю. ш., 68,27098° з. д.
132	Берендт, горы	75,31101° ю. ш., 72,50996° з. д.
133	Меррик, горы	75,08919° ю. ш., 72,05406° з. д.
134	Суини, горы	75,15157° ю. ш., 69,41835° з. д.
135	Хоберг, горы	75,15157° ю. ш., 69,41835° з. д.
136	Скейф, горы	75,15870° ю. ш., 64,97666° з. д.
137	Латади, горы	74,69710° ю. ш., 64,26198° з. д.
138	Рэа, хр.	74,37914° ю. ш., 64,10655° з. д.
139	Геттар, хр.	74,40266° ю. ш., 63,18271° з. д.
140	Хаттон, горы	74,13159° ю. ш., 62,51864° з. д.
141	Вернер, горы	73,54753° ю. ш., 62,41937° з. д.
142	Дейна, горы	73,54753° ю. ш., 62,41937° з. д.
143	Кэри, хр.	72,96578° ю. ш., 62,34251° з. д.
144	Вегенер, хр.	72,72226° ю. ш., 62,26823° з. д.
145	Пек, хр.	72,22468° ю. ш., 62,42147° з. д.
146	Гесс, горы	71,98978° ю. ш., 62,51799° з. д.
147	Ширмахер, массив	71,59502° ю. ш., 62,28781° з. д.
147	Кат, хр.	71,08915° ю. ш., 61,94099° з. д.
148	Пармели, массив	70,97531° ю. ш., 62,12792° з. д.
149	Уэлч, горы	70,93036° ю. ш., 63,45534° з. д.
150	Иленд, горы	70,50707° ю. ш., 62,99098° з. д.
151	Баттерби, горы	71,47131° ю. ш., 67,26160° з. д.
152	Канис, возв.	70,43027° ю. ш., 66,38876° з. д.
153	Кэмпбелл, хр.	70,38082° ю. ш., 67,50575° з. д.
154	Траверс, горы	69,91887° ю. ш., 67,94935° з. д.
XX	<i>Земля Грейама</i>	
155	Хоршшу, о.	67,76182° ю. ш., 67,00835° з. д.
156	Кеннет, горы	67,20999° ю. ш., 65,18534° з. д.
157	МакКлари, хр.	66,82915° ю. ш., 64,18921° з. д.
158	Бигла, хр.	66,53701° ю. ш., 63,91961° з. д.
159	Кейси, м.	66,36665° ю. ш., 63,71748° з. д.

Номера фотокарт (римск.) и территорий (арабск.)	Регион (курсив), название территории и ее тип	Географические координаты условного центра территории
160	Литтелтон, хр.	66,28496° ю. ш., 63,11276° з. д.
161	Воден, возв.	65,83951° ю. ш., 62,86384° з. д.
162	Аристотл, горы	65,54510° ю. ш., 62,48522° з. д.
163	Оста, хр.	65,24498° ю. ш., 62,19916° з. д.
164	Метличина, хр.	65,11417° ю. ш., 61,93080° з. д.
165	Ругате, хр.	65,01824° ю. ш., 61,94326° з. д.
166	Загреус, хр.	64,87087° ю. ш., 61,84613° з. д.
167	Тиллберг, хр.	64,79962° ю. ш., 60,97322° з. д.
168	Норденшельда, берег	64,50060° ю. ш., 60,34802° з. д.
169	Игл, о.	63,65722° ю. ш., 57,49492° з. д.
170	Вега, о.	63,84113° ю. ш., 57,42613° з. д.
171	Симор, о.	64,28021° ю. ш., 56,76862° з. д.
172	Джеймса Росса, о.	64,11479° ю. ш., 57,95821° з. д.
XXI	<i>Южные Шетландские острова</i>	
173	Десепшен (Тейля), о.	62,94944° ю. ш., 60,64135° з. д.
174	Байерс, п-ов (о. Ливингстон (Смоленск))	62,64061° ю. ш., 61,07264° з. д.
175	Файлдс, п-ов (о. Кинг-Джордж (Ватерлоо))	62,19073° ю. ш., 58,96010° з. д.
176	Бартон, п-ов (там же)	62,22833° ю. ш., 58,74738° з. д.
177	Поттер, п-ов (там же)	62,24743° ю. ш., 58,65523° з. д.
178	Западный берег бух. Адмиралти (там же)	62,18541° ю. ш., 58,44579° з. д.
179	Келлер, п-ов (там же)	62,07495° ю. ш., 58,40609° з. д.
XXII	<i>Земля Королевы Елизаветы</i>	
180	Патаксент, хр.	84,62679° ю. ш., 63,85130° з. д.
181	Нептъюн, хр.	83,87829° ю. ш., 56,44364° з. д.
182	Пенсакола, горы	83,62408° ю. ш., 55,31863° з. д.
183	Форрестал, хр.	83,19049° ю. ш., 50,63544° з. д.
184	Дуфек, массив	82,54255° ю. ш., 51,52901° з. д.
185	Арджентина, хр.	82,31155° ю. ш., 42,15123° з. д.
XXIII	<i>Земля Котса</i>	
186	Шеклтона, хр.	80,51287° ю. ш., 27,08618° з. д.
XXIV	<i>Земля Королевы Мод</i>	
187	Краульберге, горы	73,40679° ю. ш., 14,14385° з. д.
188	Хеймефронтфьелла, горы	80,51287° ю. ш., 27,08618° з. д.
189	Керуан, горы	73,89704° ю. ш., 5,13154° з. д.
190	Борг, массив	73,89704° ю. ш., 5,13154° з. д.
191	Альманнрюгген, плато	72,11798° ю. ш., 2,90514° з. д.

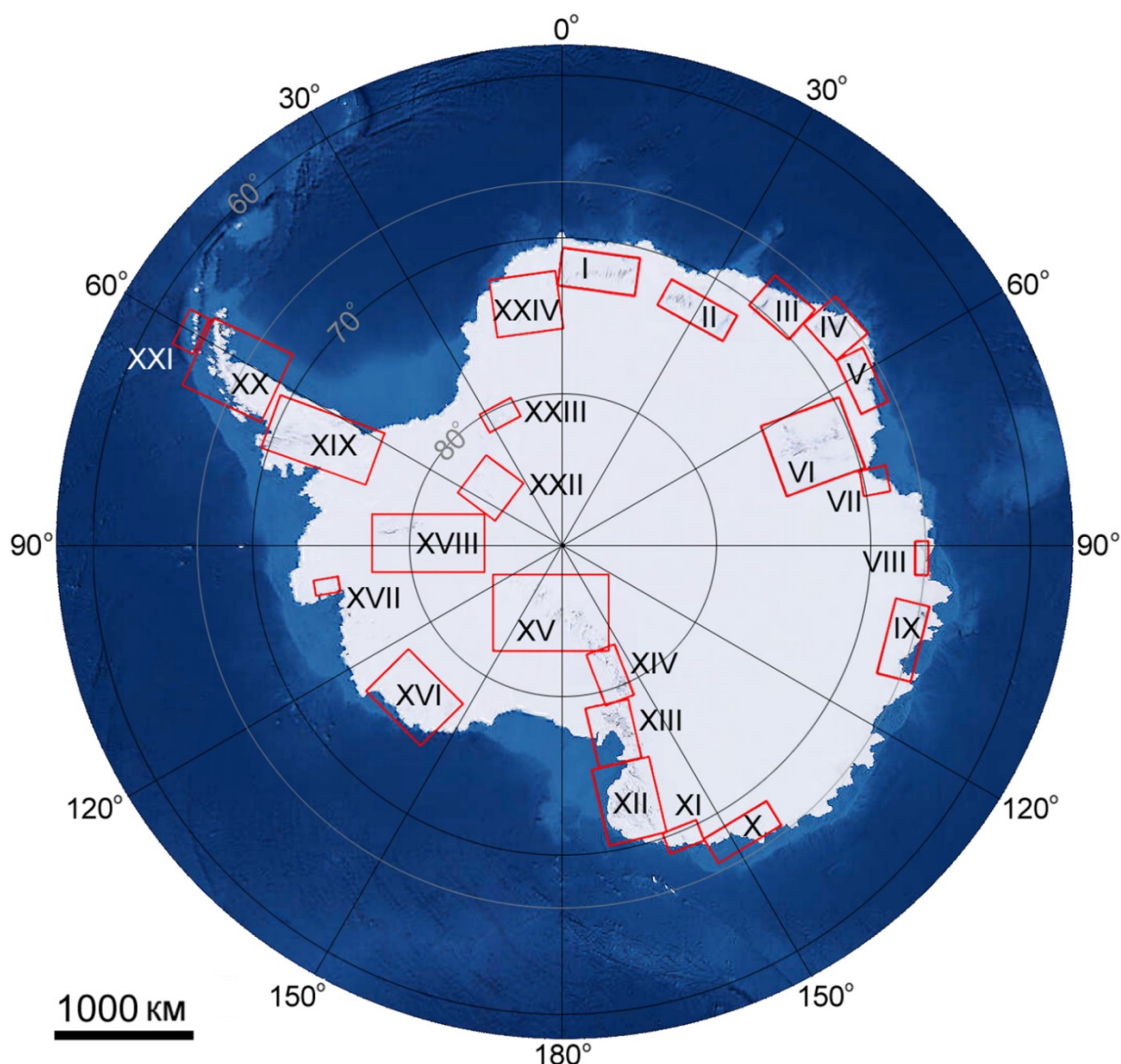


Рис. 2. Разграфка фотокарт (красные прямоугольники, см. рис. 3) со свободными от оледенения территориями Антарктики. Римские цифры — номера фотокарт.

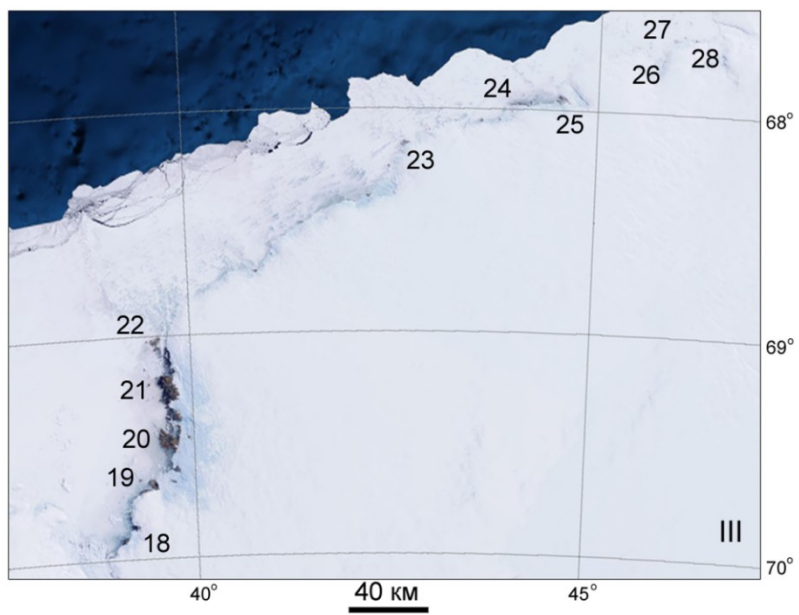
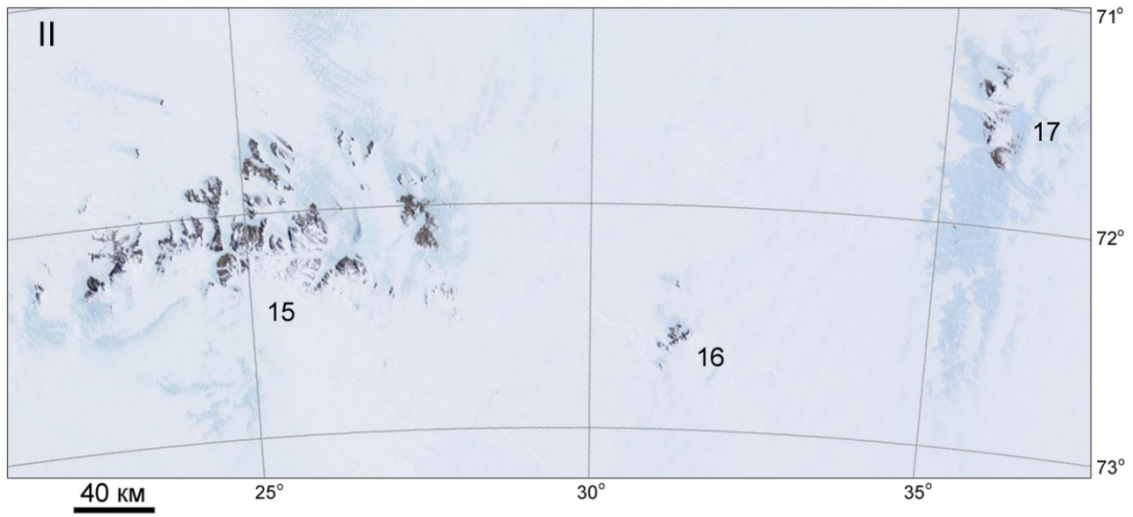
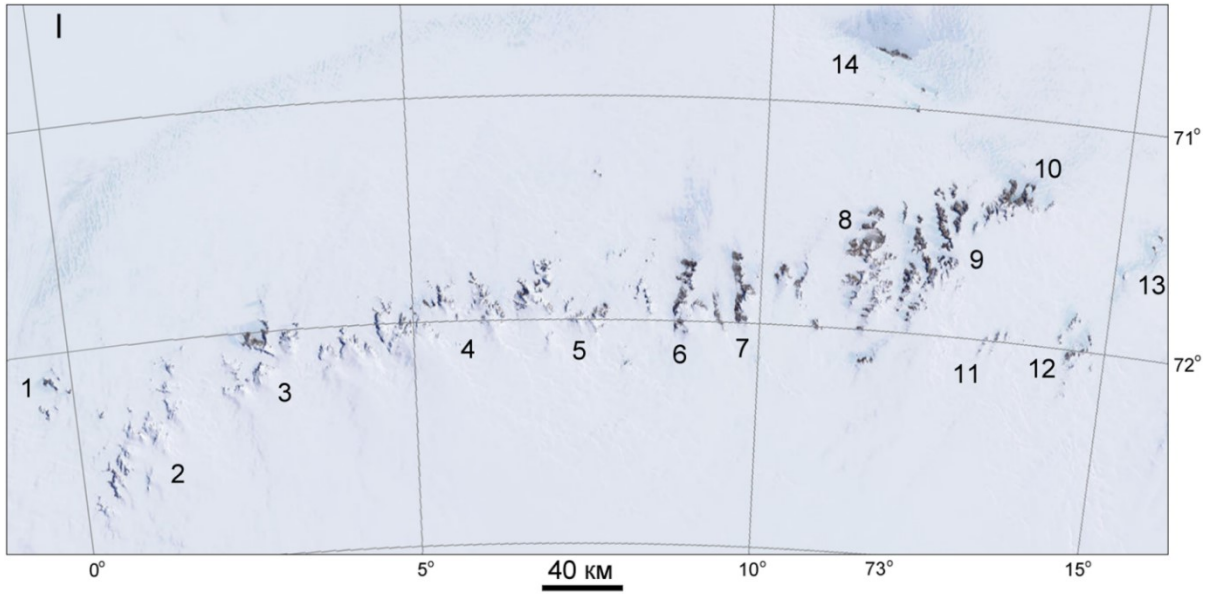
Подложка — геопортал REMA Explorer

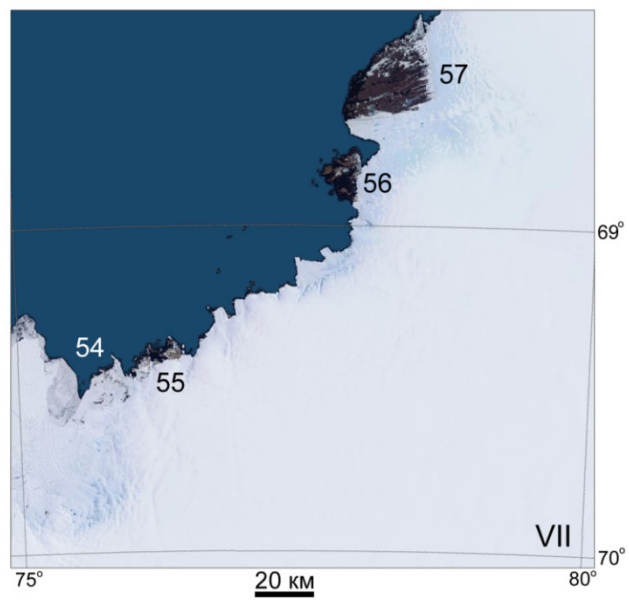
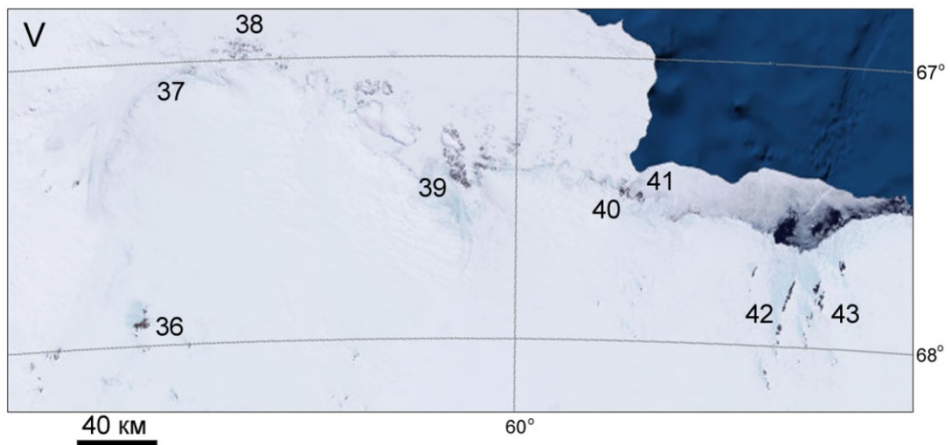
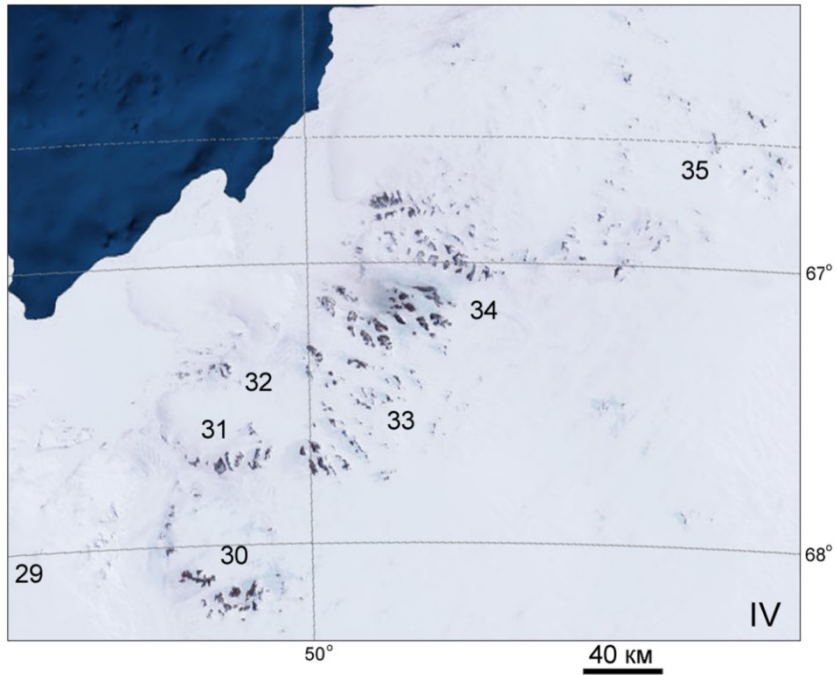
Fig. 2. Layout of satellite imagery maps (red rectangles, see fig. 3) with ice-free territories of Antarctica. Roman numerals are satellite imagery map numbers.

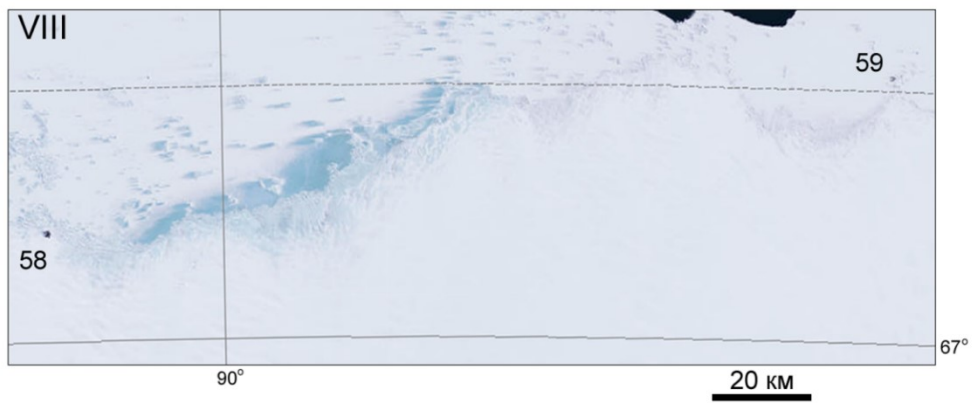
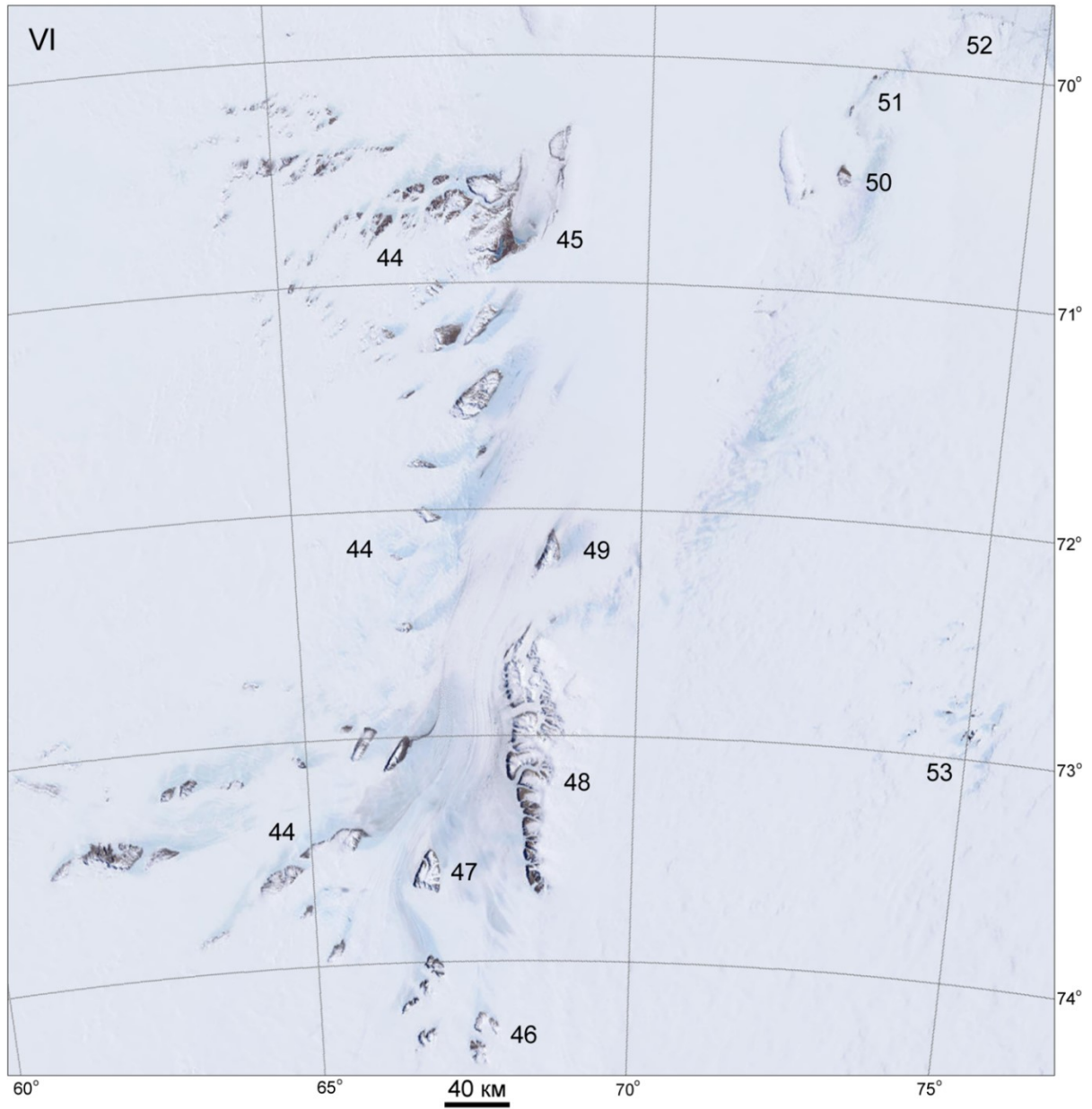
Background is from REMA Explorer geoportal

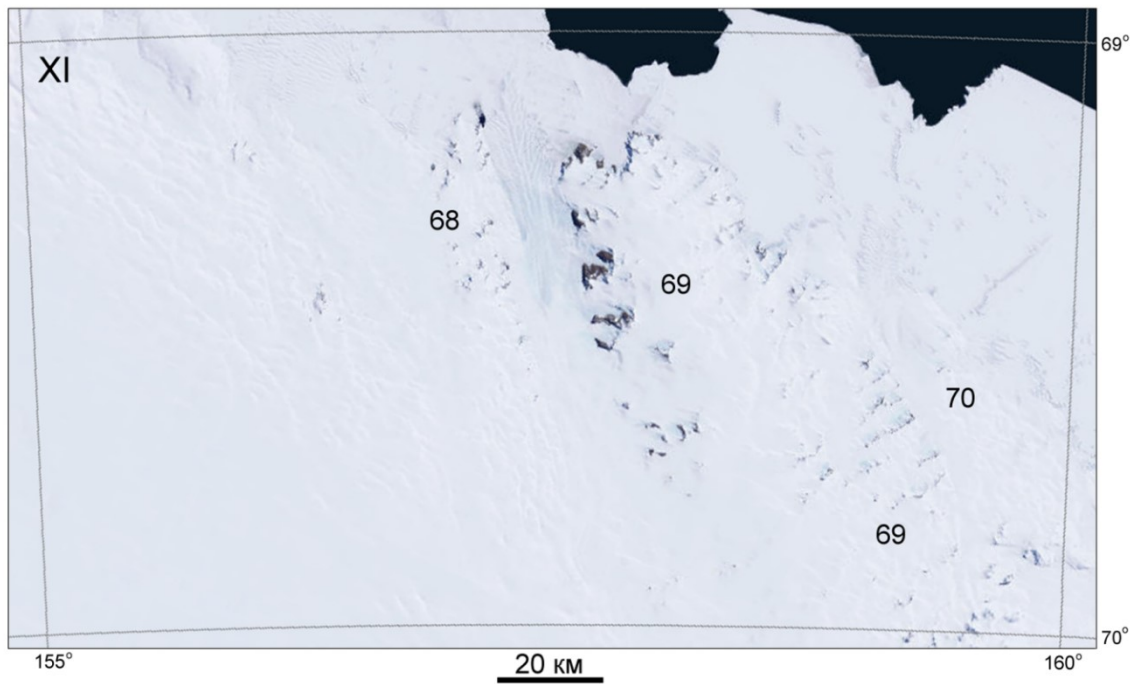
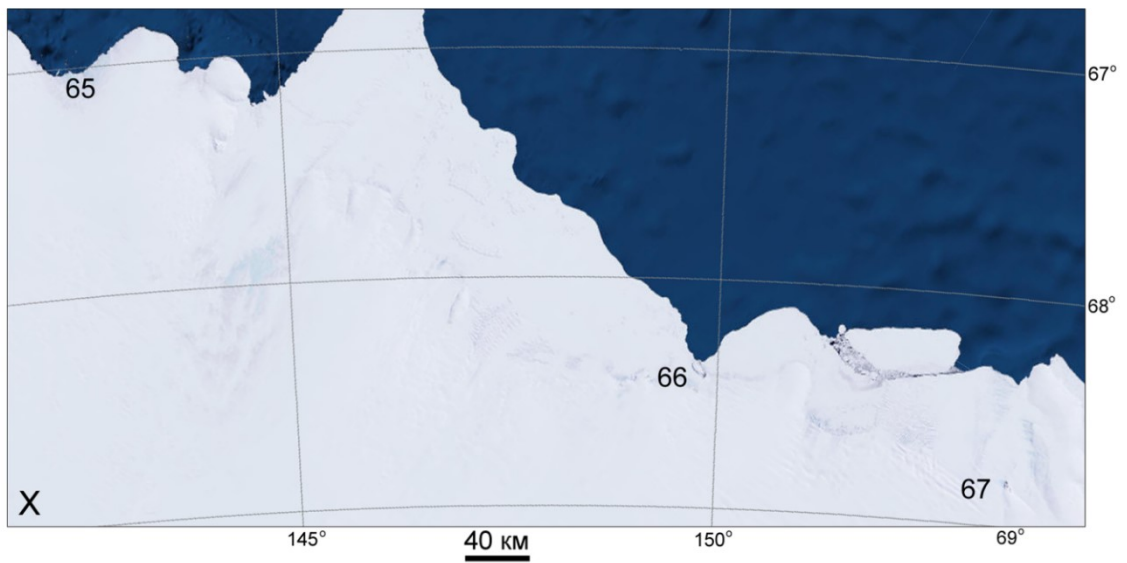
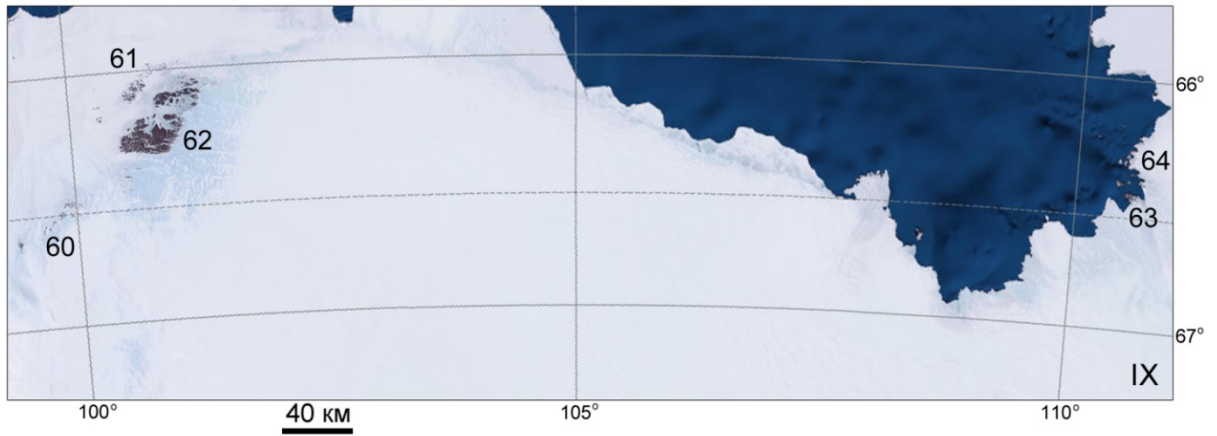
Для первичной обработки и редактирования фрагментов ЦМР REMA, геоморфометрических расчетов и картографирования будет использоваться программное обеспечение System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) [Conrad et al., 2015], которое уже хорошо зарекомендовало себя для этих целей [Florinsky, 2023a, 2023b].

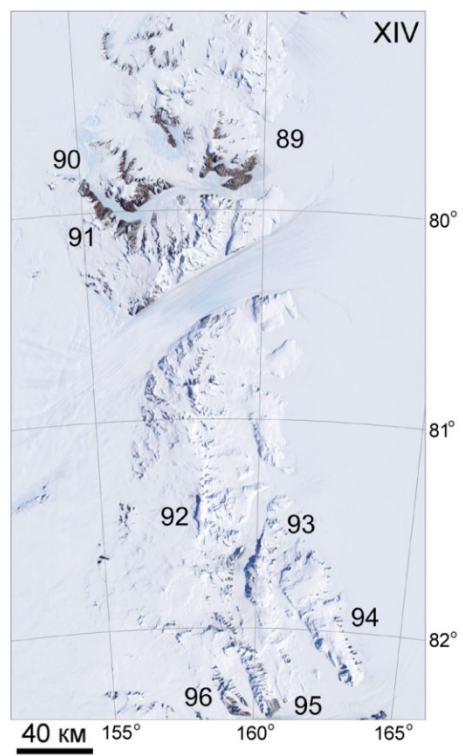
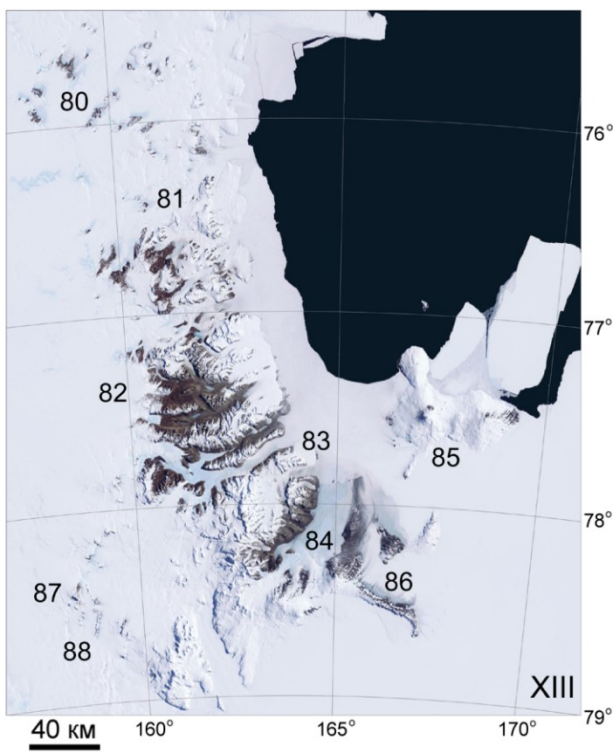
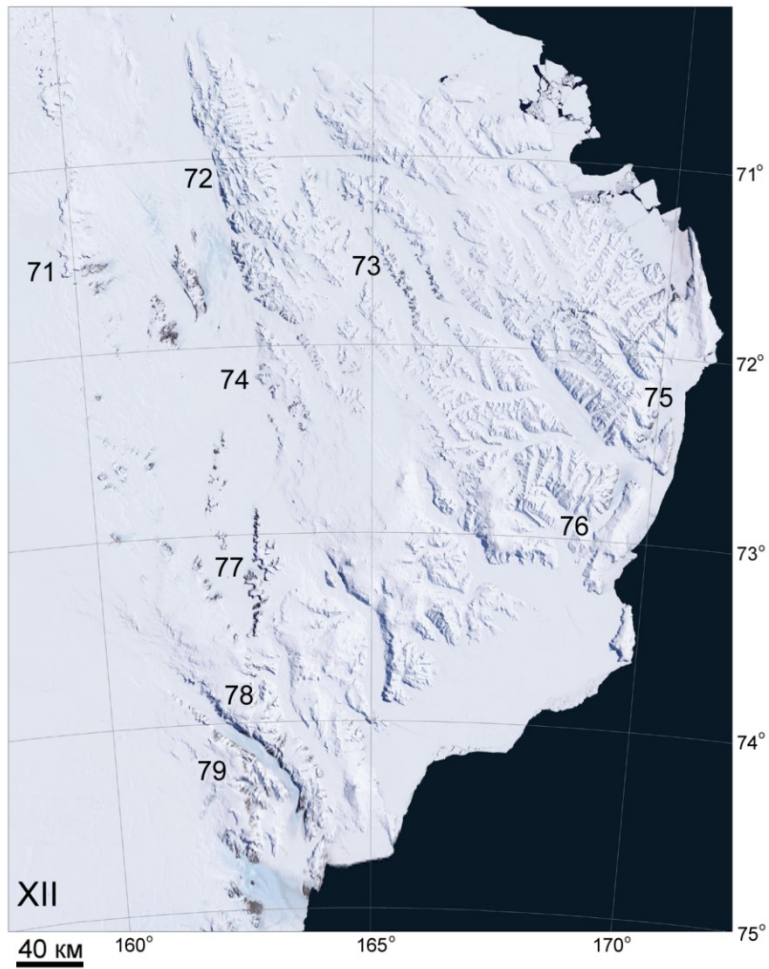
Планируется полиграфическая форма опубликования в виде настольного атласа формата А3 (объем приблизительно 400 с.) с дополнительными электронными материалами (геоморфометрические модели в формате GEOTIFF и пр.), которые будут доступны в онлайн-режиме в сети Интернет.

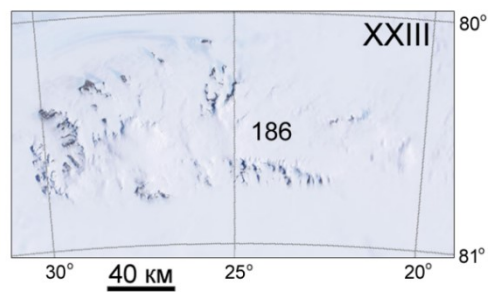
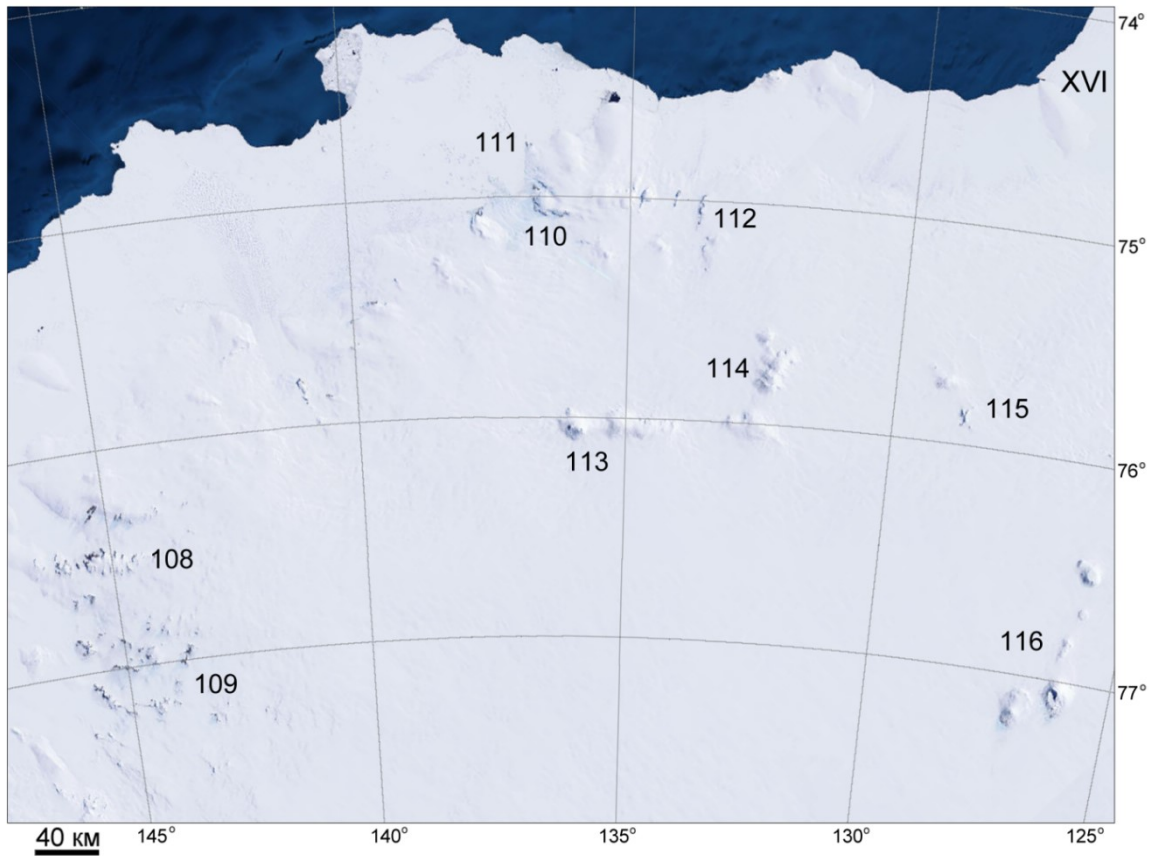
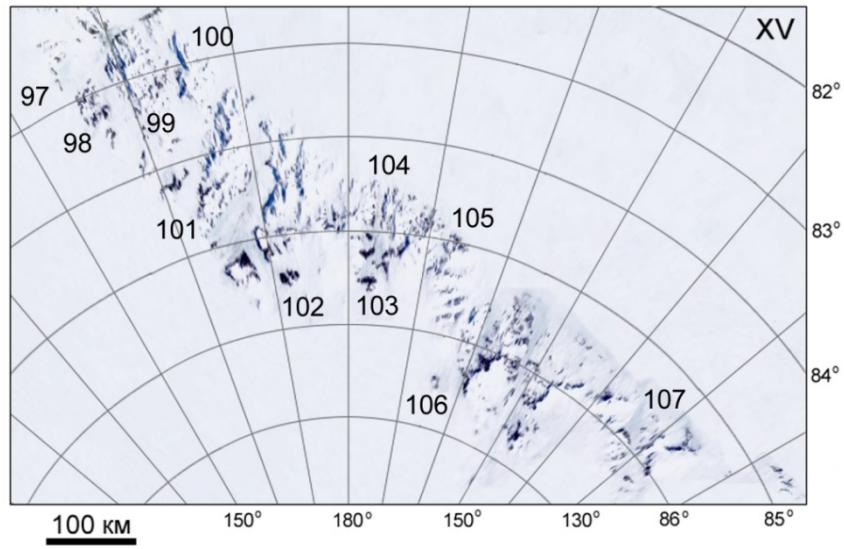


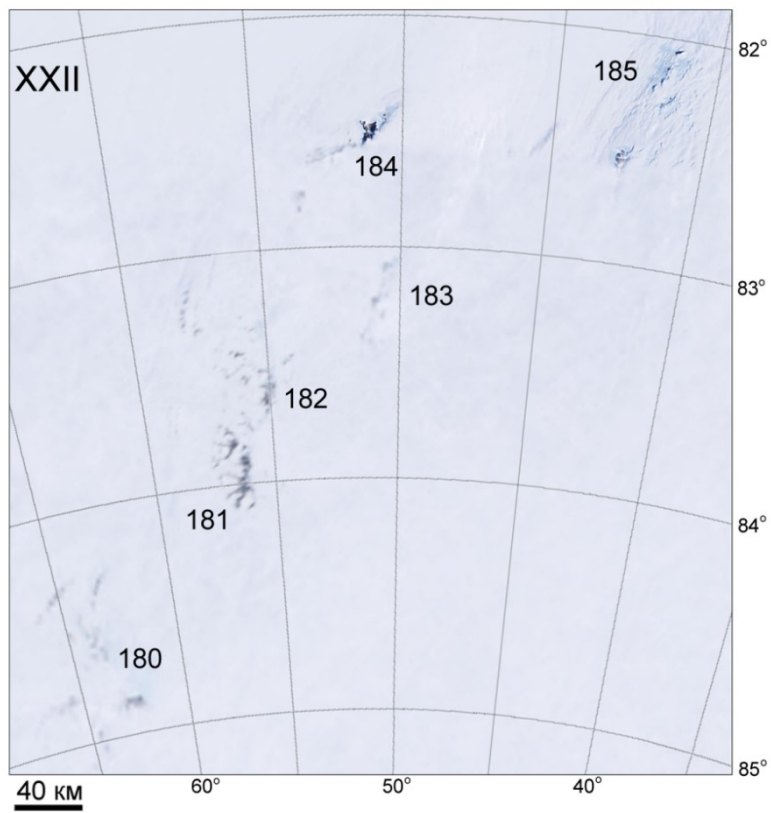
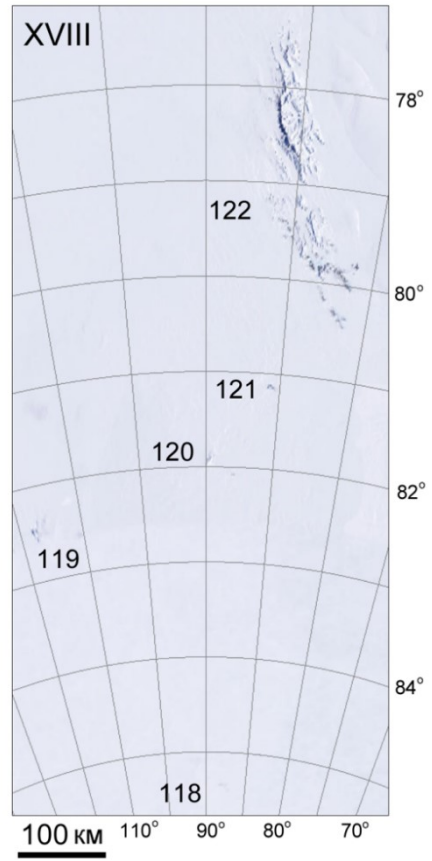
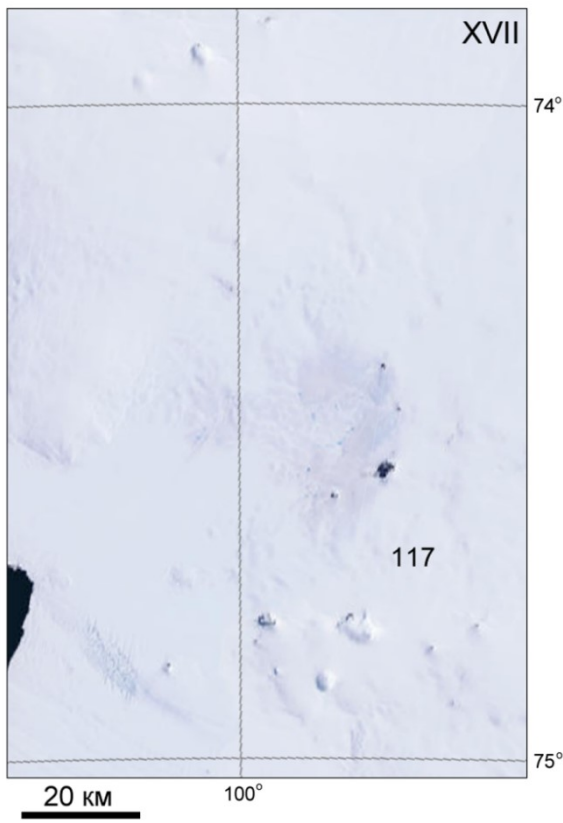


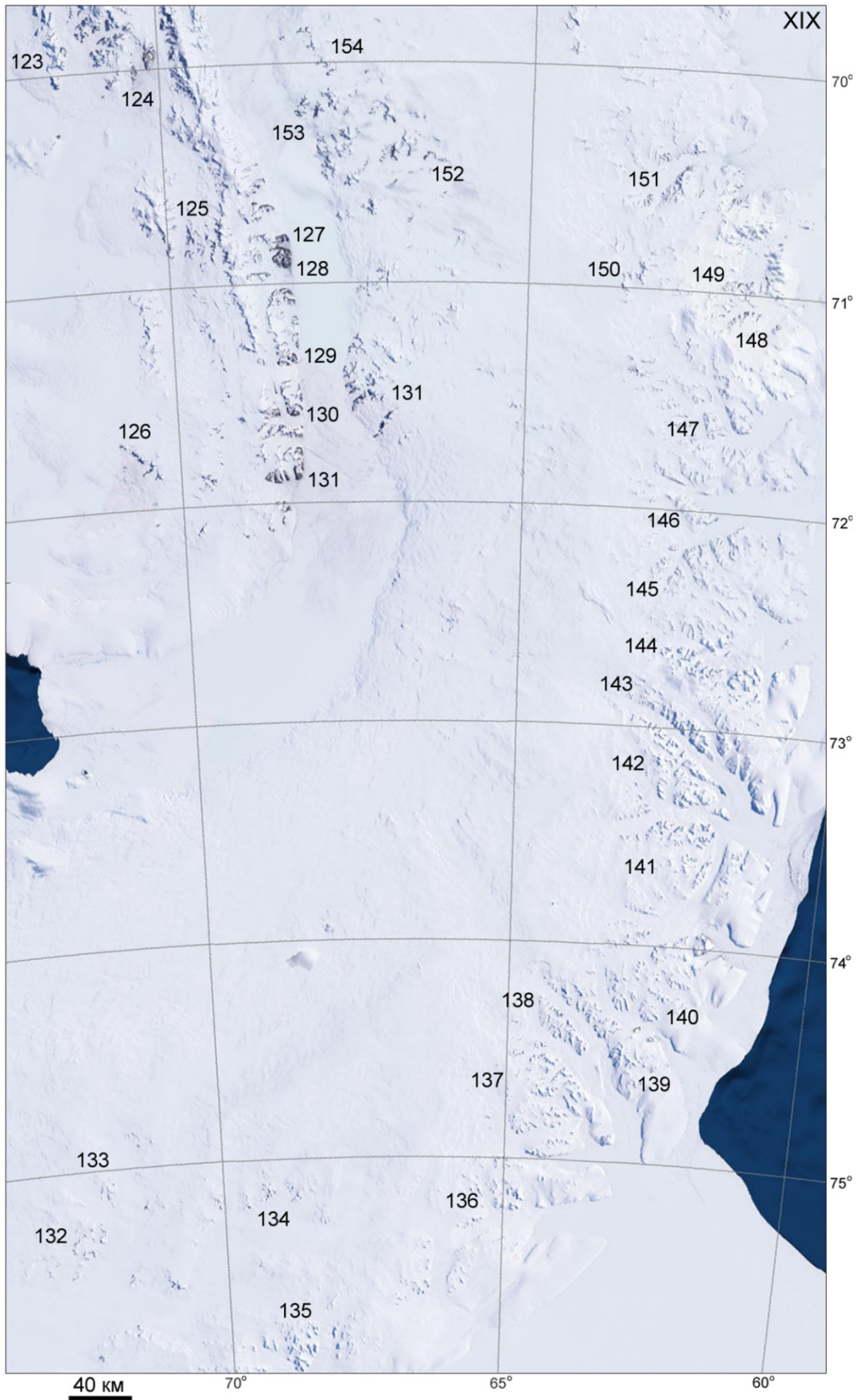


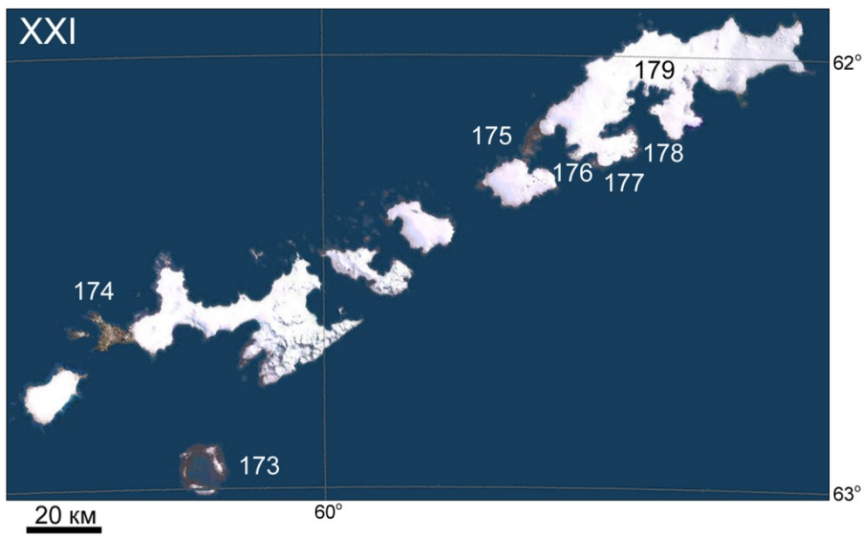
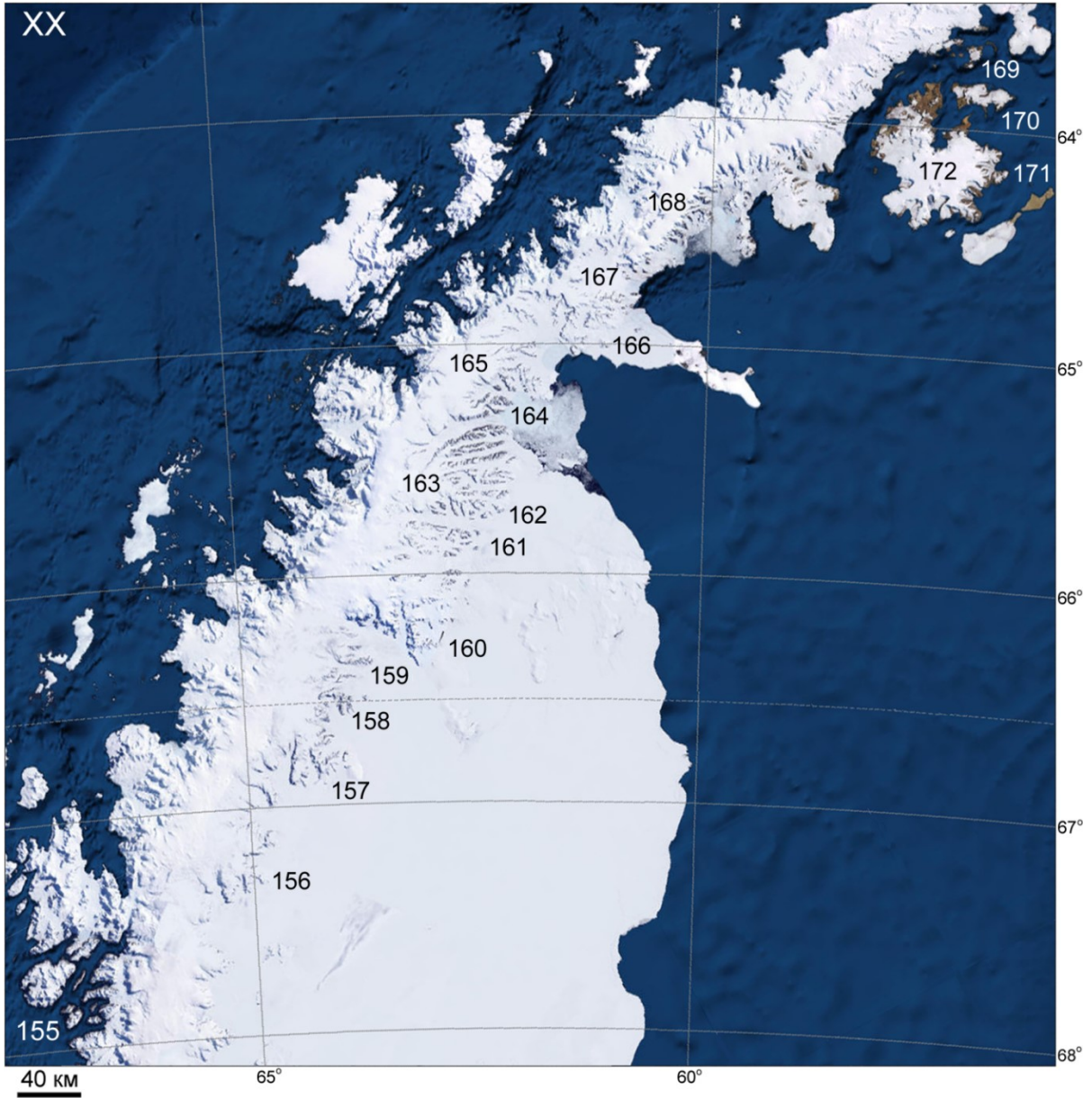












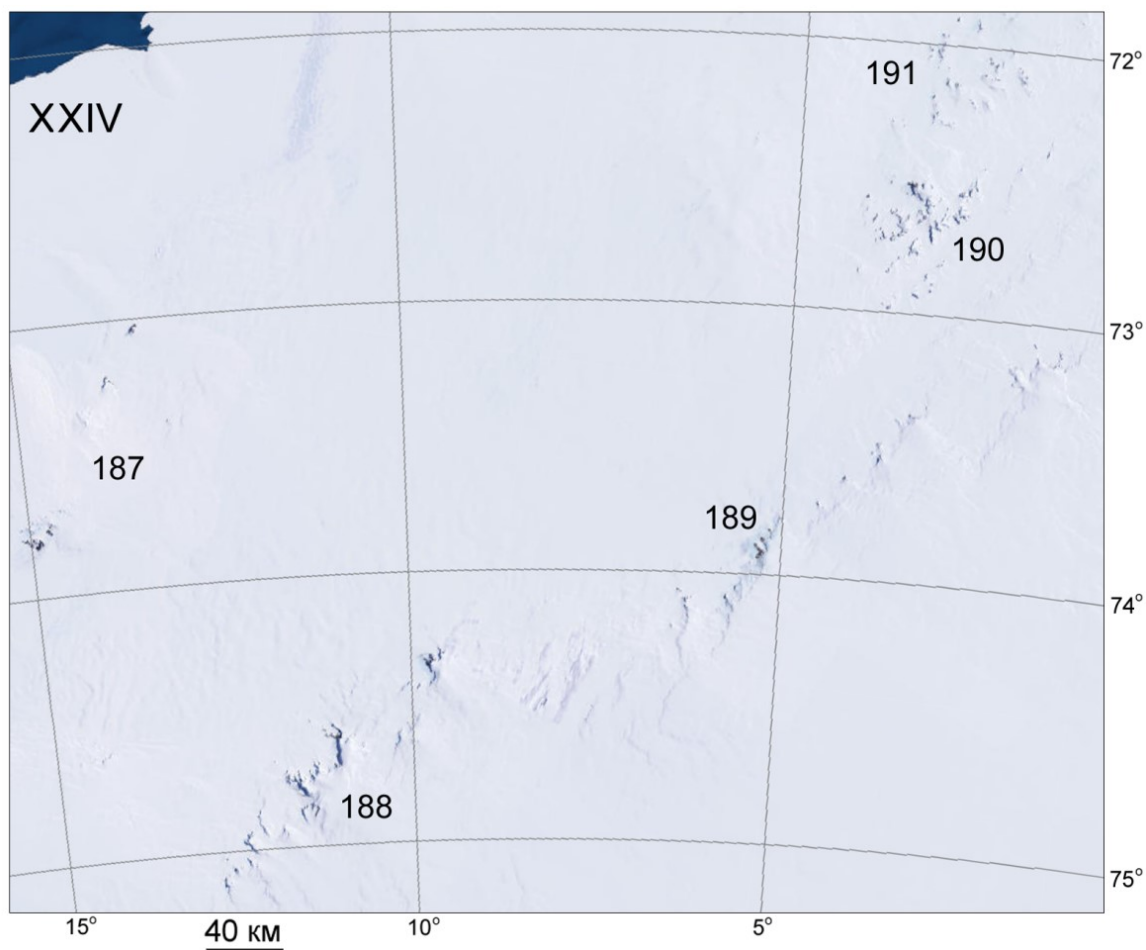


Рис. 3. Свободные от оледенения территории Антарктики. Римские цифры — номера фотокарт (см. рис. 2); арабские цифры — номера территорий (см. табл. 1). Источник мозаик космоснимков — геопортал REMA Explorer (данные Earthstar Geographics)
Fig. 3. Ice-free Antarctic territories. Roman numerals are satellite imagery map numbers (see Fig. 2); arabic numerals are numbers of territories (see Table 1). Satellite imagery mosaics are from the REMA Explorer geoportал (source: Earthstar Geographics)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 указано около 200 территорий Антарктики, полностью или частично свободных от ледникового покрова, которые должны быть представлены в разрабатываемом атласе. Названия территорий (табл. 1) определены по топографическим картам, а также с помощью инструментов геопортала Геологической службы США. Нормализованная русская передача иноязычных названий дана в соответствии с фундаментальной сводкой географических названий Антарктики [Словарь..., 1987], обязательной к использованию в государственных учреждениях и организациях. Для отсутствующих в этом Словаре иноязычных топонимов их русские соответствия даны согласно «Основным правилам русской передачи иноязычных названий Антарктики» [Словарь..., 1987]. Географические координаты условных центров картографируемых территорий (табл. 1) даны в системе WGS-1984 и определены с помощью инструментов геопортала REMA Explorer.

Серия фотокарт (рис. 3) позволяет оценить пространственное распределение и особенности конфигурации свободных от оледенения территорий Антарктики.

Направление атласного геоморфометрического картографирования еще недостаточно проработано в силу его новизны, поэтому в процессе работы над атласом могут возникнуть различные задачи и вопросы методического характера, которые необходимо будет решать в рабочем порядке. Кроме того, территории Антарктики, свободные от ледникового покрова, имеют три особенности, которые также необходимо будет учитывать при атласном картографировании:

1. Широкий диапазон размеров таких территорий. Эта особенность хорошо заметна при сравнительном анализе размеров свободных от оледенения территорий в пределах одной фотокарты. Например, расположенные на Земле Королевы Мод массив Вольтат (№ 9) и оазис Ширмахера (№ 14) имеют характерные размеры 110×20 км и 20×3 км, соответственно (рис. 3, фотокарта I).
2. Неравномерность пространственного распределения свободных от оледенения территорий. Например, сравним территории на фотокартах XIII и VIII (рис. 3). На фотокарте XIII (Земля Виктории) представлены Сухие долины Мак-Мердо (№ 82), протянувшиеся с севера на юг на расстояние 170 км. На фотокарте VIII (Земля Вильгельма II – Земля Королевы Мэри) представлены две территории — гора Гауссберг (№ 58) и острова Хасуэлл (№ 59), расстояние между которыми тоже 170 км.
3. Неопределенность границ свободных от оледенения территорий. Вопрос проведения границ антарктических оазисов поднимался ранее в контексте их ландшафтного картографирования [Александров, 1985]. Действительно, допустимо ли проводить границу свободной от ледникового покрова территории механически по ее периметру, если в эти границы попадают небольшие снежники или пассивные ледниковые купола, расположенные в глубине оазиса? Как проводить границы частично свободной от оледенения горной территории, если хребты свободны ото льда, а долины между хребтами — нет? Нужно ли включать в состав оазиса мелкие нунатаки, расположенные по соседству, или их необходимо рассматривать как отдельные объекты картографирования?

Известно, что любой атлас как крупное картографическое произведение должен обладать целостностью, что реализуется благодаря полноте и внутреннему единству содержания атласа [Салищев, 1990].

Полнота разрабатываемого геоморфометрического атласа будет обеспечена двумя факторами:

1. В атласе будут представлены все значимые территории Антарктики, свободные от ледникового покрова.
2. Для этих территорий будут построены карты всех основных, научно значимых и интерпретируемых морфометрических характеристик рельефа.

Внутреннее единство атласа будет обеспечено тремя факторами:

1. Серия морфометрических карт каждой территории будет создаваться в одном масштабе, что обеспечит простоту сопоставления этих карт.
2. Для всех территорий будут рассчитаны серии карт одного набора морфометрических характеристик, что будет способствовать сравнительному анализу рельефа различных территорий.
3. Каждая морфометрическая карта количественно описывает определенное свойство поверхности рельефа и обладает уникальной физико-математической и физико-географической интерпретацией. При этом морфометрические карты одной серии взаимно дополняют друг друга.

ВЫВОДЫ

Аргументирована необходимость создания фундаментального картографического произведения — физико-географического тематического научно-справочного геоморфометрического атласа свободных от оледенения территорий Антарктики. Разработаны основные положения концепции атласа. Определен список территорий, подлежащих геоморфометрическому картографированию.

Создаваемый атлас сконцентрирует мультимасштабную многоаспектную количественную информацию о рельефе свободных от оледенения территорий Антарктики, представит ее в систематизированной, организованной и хорошо читаемой форме, обеспечит научно-информационную поддержку фундаментальных и прикладных исследований Антарктики, а также будет способствовать реализации геополитических интересов России в южном полярном регионе.

Работы по созданию геоморфометрического атласа свободных от оледенения территорий Антарктики имеют мировую научную новизну и закрепляют российский приоритет в этом направлении исследований. Проект планируется реализовать до 2030 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александров М. В. Ландшафтная структура и картирование оазисов Земли Эндерби. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 152 с.

Антарктика. Геоморфологический атлас. СПб.: Карта, 2011. 256 с.

Атлас Антарктики. М.–Л.: ГУГК, 1966. Т. 1. 241 с.

Атлас Антарктики. Л.: Гидрометеиздат, 1969. Т. 2. 598 с.

Атлас океанов. Антарктика. СПб.: ГУНиО МО РФ, 2005. 280 с.

Ласточкин А. Н. Субгляциальная геоморфология Антарктики: Теория, методика и результаты. Т. I: Общие геоморфологические исследования. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2006. 202 с.

Салищев К. А. Картоведение. Издание 3. М.: Издательство Московского университета, 1990. 400 с.

Симонов И. А. Оазисы Восточной Антарктиды. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 176 с.

Словарь географических названий Антарктики. М.: ЦНИИГАиК, 1987. 407 с.

Сократова И. Н. Антарктические оазисы: история и результаты исследований. СПб.: АНИИ, 2010. 274 с.

Флоринский И. В. Геоморфометрия сегодня. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Международной конференции. М.: Географический факультет МГУ, 2021. Т. 27. Ч. 2. С. 394–448. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-394-448.

Atlas Antártico Chile. Santiago: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico, Armada de Chile, 1993. 86 p.

Clancy R., Manning J., Brolsma H. Mapping Antarctica: A Five Hundred Year Record of Discovery. Dordrecht: Springer, 2014. 328 p.

Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Boehner J. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geoscientific Model Development, 2015. V. 8. P. 1991–2007. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.

Csillik O., Drăguț L. D. Towards a global geomorphometric atlas using Google Earth engine.

Geomorphometry 2018: 5th International Conference of the ISG. Boulder: International Society for Geomorphometry, 2018. P. 1–4.

Florinsky I. V. Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press, 2016. 486 p.

Florinsky I. V. Geomorphometric Modeling and Mapping of Antarctic Oases. ArXiv Preprints, 2023a. No. 2305.07523. 84 p. DOI: 10.48550/arXiv.2305.07523.

Florinsky I. V. Larsemann Hills: Geomorphometric modeling and mapping. Polar Science, 2023b. V. 38. 100969. DOI: 10.1016/j.polar.2023.100969.

Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Amsterdam: Elsevier, 2009. 765 p.

Guth P. L. Global SRTM geomorphometric atlas. Proceedings of the 9th International Conference on GeoComputation, Maynooth, Ireland, 3–5 Sept. 2007. GeoComputation CD-ROM, 2007. 6 p.

Herzfeld U. C. Atlas of Antarctica: Topographic Maps from Geostatistical Analysis of Satellite Radar Altimeter Data. Berlin: Springer, 2004. 364 p.

Howat I. M., Porter C., Smith B. E., Noh M.-J., Morin P. The reference elevation model of Antarctica. Cryosphere, 2019. V. 13. No. 2. P. 665–674. DOI: 10.5194/tc-13-665-2019.

Ioniță A., Lungu M., Baleț M., Todor A. The geomorphometric atlas of Romania: An open-access database on landform classifications and morphometric variables. Journal of Maps, 2024. V. 20. No. 1. 2354712. DOI: 10.1080/17445647.2024.2354712.

Klokočník J., Kostelecký J., Bezděk A. Gravitational Atlas of Antarctica. Cham: Springer, 2017. 113 p.

Ochyra R., Lewis Smith R. I., Bednarek-Ochyra H. Illustrated Moss Flora of Antarctica. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 704 p.

Øvstedal D. O., Lewis Smith R. I. Lichens of Antarctica and South Georgia: A Guide to Their Identification and Ecology. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 424 p.

Terrain Analysis: Principles and Applications. New York: Wiley, 2000. 479 p.

The Soils of Antarctica. Cham: Springer, 2015. 322 p.

REFERENCES

Alexandrov M. V. Landscape Structure and Mapping of the Enderby Land Oases. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 152 p. (in Russian).

Antarctica. Geomorphological Atlas. St. Petersburg: Karta, 2011. 256 p. (in Russian).

Atlas Antártico Chile. Santiago: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico, Armada de Chile, 1993. 86 p.

Atlas of Antarctica. Moscow–Leningrad: Main Directorate of Geodesy and Cartography (MDGC), 1966. V. 1. 241 p.

Atlas of Antarctica. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1969. V. 2. 98 p. (in Russian).

Atlas of the Oceans. Antarctica. St. Petersburg: Head Department of Navigation and Oceanography, 2005. 280 p. (in Russian).

Clancy R., Manning J., Broksma H. Mapping Antarctica: A Five Hundred Year Record of Discovery. Dordrecht: Springer, 2014. 328 p.

Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Boehner J. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geoscientific Model Development, 2015. V. 8. P. 1991–2007. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.

- Csillik O., Drăguț L. D.* Towards a global geomorphometric atlas using Google Earth engine. *Geomorphometry 2018: 5th International Conference of the ISG*. Boulder: International Society for Geomorphometry, 2018. P. 1–4.
- Dictionary of Antarctic Geographical Names. Moscow: Central Scientific Research Institute for Geodesy, Aerophotosurveying and Cartography, 1987. 407 p. (in Russian).
- Florinsky I. V.* Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press, 2016. 486 p.
- Florinsky I. V.* Geomorphometry today. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International Conference. Moscow: MSU, Faculty of Geography, 2021. V. 27. Part 2. P. 394–448 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-394-448.
- Florinsky I. V.* Geomorphometric Modeling and Mapping of Antarctic Oases. ArXiv Preprints, 2023a. No. 2305.07523. 84 p. DOI: 10.48550/arXiv.2305.07523.
- Florinsky I. V.* Larsemann Hills: Geomorphometric modeling and mapping. *Polar Science*. 2023b. V. 38. 100969. DOI: 10.1016/j.polar.2023.100969.
- Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Amsterdam: Elsevier, 2009. 765 p.
- Guth P. L.* Global SRTM geomorphometric atlas. Proceedings of the 9th International Conference on GeoComputation, Maynooth, Ireland, 3–5 Sept. 2007. GeoComputation CD-ROM, 2007. 6 p.
- Herzfeld U. C.* Atlas of Antarctica: Topographic Maps from Geostatistical Analysis of Satellite Radar Altimeter Data. Berlin: Springer, 2004. 364 p.
- Howat I. M., Porter C., Smith B. E., Noh M.-J., Morin P.* The reference elevation model of Antarctica. *Cryosphere*, 2019. V. 13. No. 2. P. 665–674. DOI: 10.5194/tc-13-665-2019.
- Ioniță A., Lungu M., Baleș M., Todor A.* The geomorphometric atlas of Romania: An open-access database on landform classifications and morphometric variables. *Journal of Maps*, 2024. V. 20. No. 1. 2354712. DOI: 10.1080/17445647.2024.2354712.
- Klokočník J., Kostelecký J., Bezděk A.* Gravitational Atlas of Antarctica. Cham: Springer, 2017. 113 p.
- Lastochkin A. N.* Subglacial Geomorphology of Antarctica: Theory, Methodology and Results. V. I: General Geomorphological Studies. St. Petersburg: St. Petersburg University Press, 2006. 202 p. (in Russian).
- Ochyra R., Lewis Smith R. I., Bednarek-Ochyra H.* Illustrated Moss Flora of Antarctica. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 704 p.
- Øvstedal D. O., Lewis Smith R. I.* Lichens of Antarctica and South Georgia: A Guide to Their Identification and Ecology. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 424 p.
- Salishchev K. A.* Map Science. 3rd edition. Moscow: Moscow University Press, 1990. 400 p. (in Russian).
- Simonov I. A.* Oases of East Antarctica. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. 176 p. (in Russian).
- Sokratova I. N.* Antarctic Oases: History and Research Results. St. Petersburg: AARI (Arctic and Antarctic Research Institute), 2010. 274 p. (in Russian).
- Terrain Analysis: Principles and Applications. New York: Wiley, 2000. 479 p.
- The Soils of Antarctica. Cham: Springer, 2015. 322 p.