



Разработка проекта атласа «Том 3. Ганимед» в рамках многотомного издания «Атлас галилеевых спутников»

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)

Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий (КЛИВТ)

mexlab@miigaik.ru

nvlad.9999@gmail.com

khlestunovavp@gmail.com

Нерусин В.А., Хлестунова В.П., Козлова Н.А., Надеждина И.Е.



Цель исследования

Создание унифицированного картографического произведения, которое обобщает и систематизирует имеющуюся информацию о Ганимеде в одном издании.

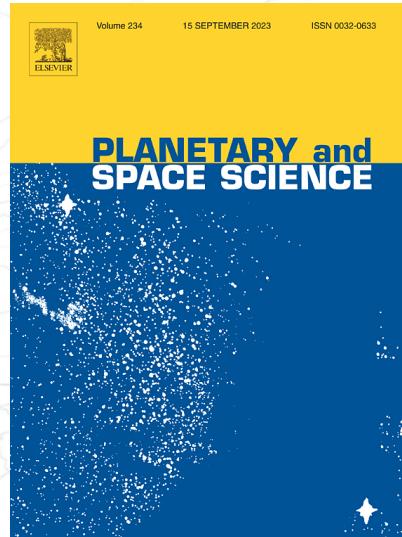
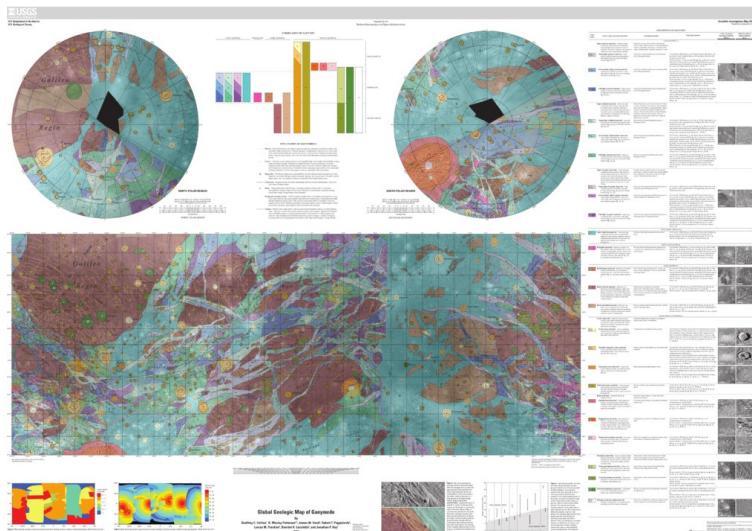
Задачи исследования

- проведение анализа существующих карт и систем разграфки поверхности Ганимеда;
- обновление существующей фотомозаики поверхности;
- разработка макетов серии обзорных и региональных карт;
- адаптация глобальной геологической карты;
- разработка системы условных обозначений и оформление картографических листов в издательском формате;
- создание справочного и пояснительного материала.



Исходные данные и источники

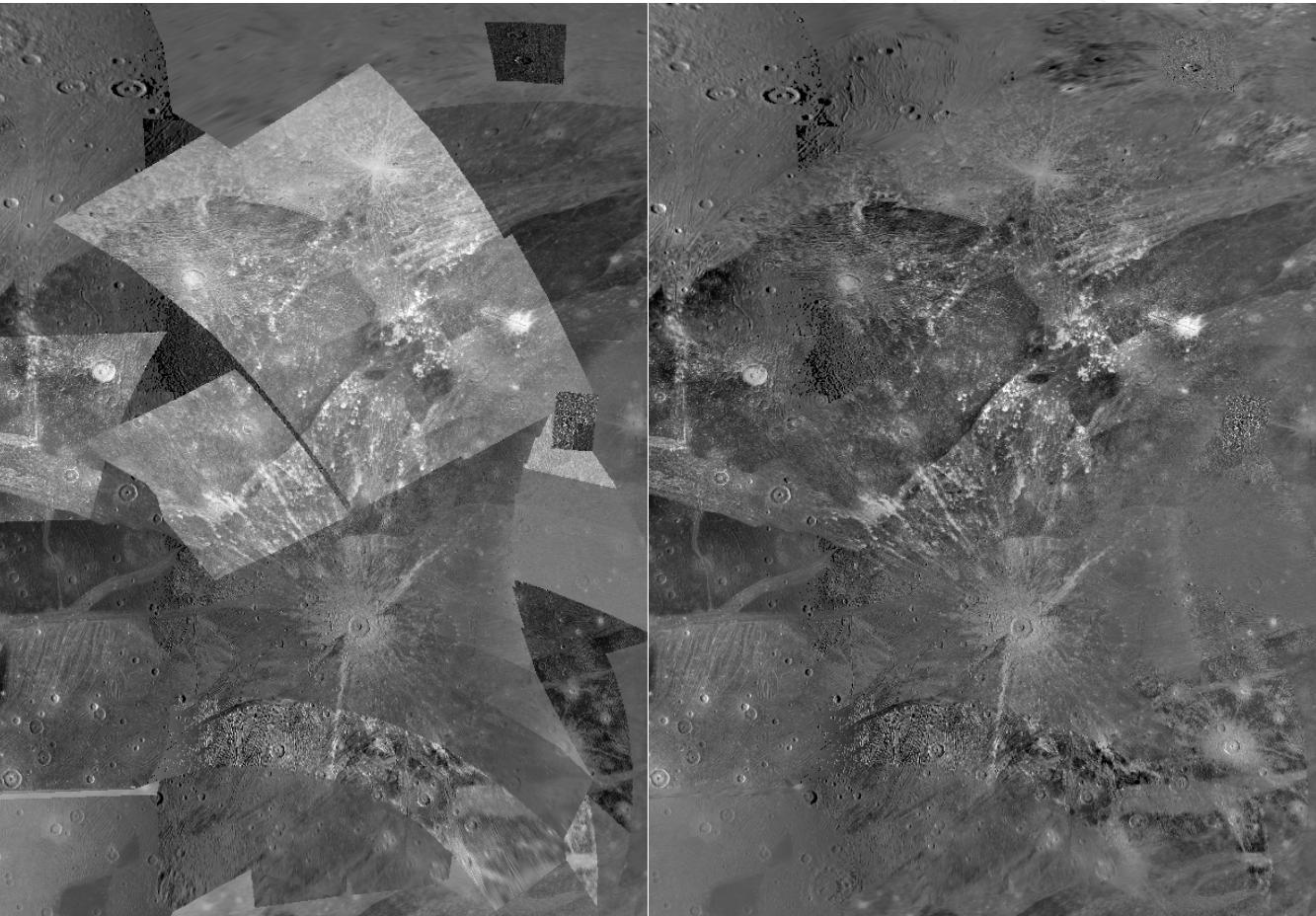
- Изображения, полученные в результате космических миссий в период с 1979 по 2021гг.;
- Подборка научных публикаций по теме исследования;
- Существующий картографический материал;
- Методические и редакционные указания по атласному картографированию.





Обновление фотомозаики

1. Редактирование текущих порезов снимков космических аппаратов;
2. Локальное и глобальное выравнивание яркостей изображений для достижения наилучшего результата.



Методика создания атласа





Содержание проектируемого атласа

I
Вводный раздел

II
История
картографирования

III
Обзорные карты

IV
Региональные
карты

V
Справочная
информация

Краткие характеристики:

Формат атласа – 297 x 210 мм (А4);

Ориентация атласа – альбомная;

Размер поля издателя – 272 x 197 мм;

Количество страниц: 104

Базовые масштабы:

1:40 000 000 – для обзорных карт;

1:15 000 000 – для региональных карт

поверхности.



Описание разделов атласа

I
Вводный раздел

Строение Солнечной
системы

Строение системы
спутников Юпитера

Характеристика
Ганимеда

II
История
картографирования

XVII – XX века

Аппараты
«Пионер-10»,
«Вояджер-1,2»,
«Галилео»

Аппараты
«Юнона», «Джус»

V
Справочная
информация

Список номенклатуры

Список источников

Специальные термины



Описание разделов атласа

Карта поверхности

Карта цифровых моделей
рельефа

III
Обзорные карты
Ганимеда

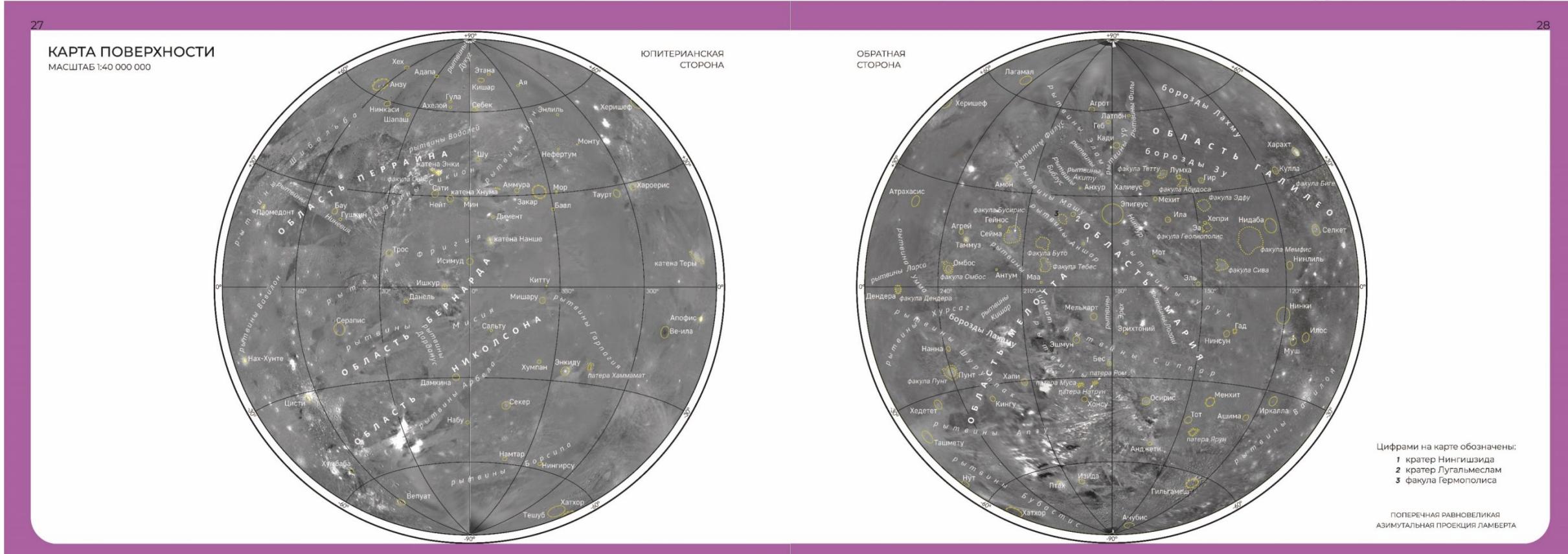
Карта разрешающей
способности снимков и
пролетов космических
аппаратов

Математическая основа: поперечная азимутальная равновеликая проекция Ламберта

Масштаб: 1:40 000 000

Шаг сетки: $\Delta\varphi = \Delta\lambda = 30^\circ$

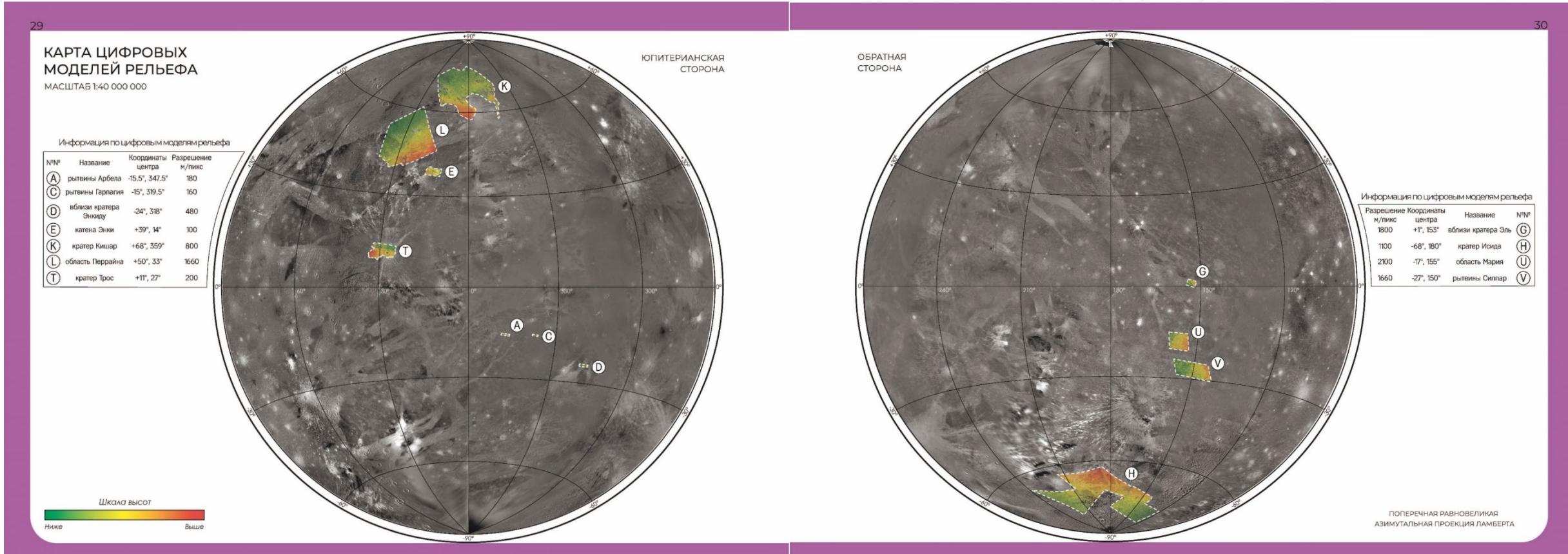
Карта поверхности



Отображаемые объекты: формы рельефа, согласно утвержденной номенклатуре.



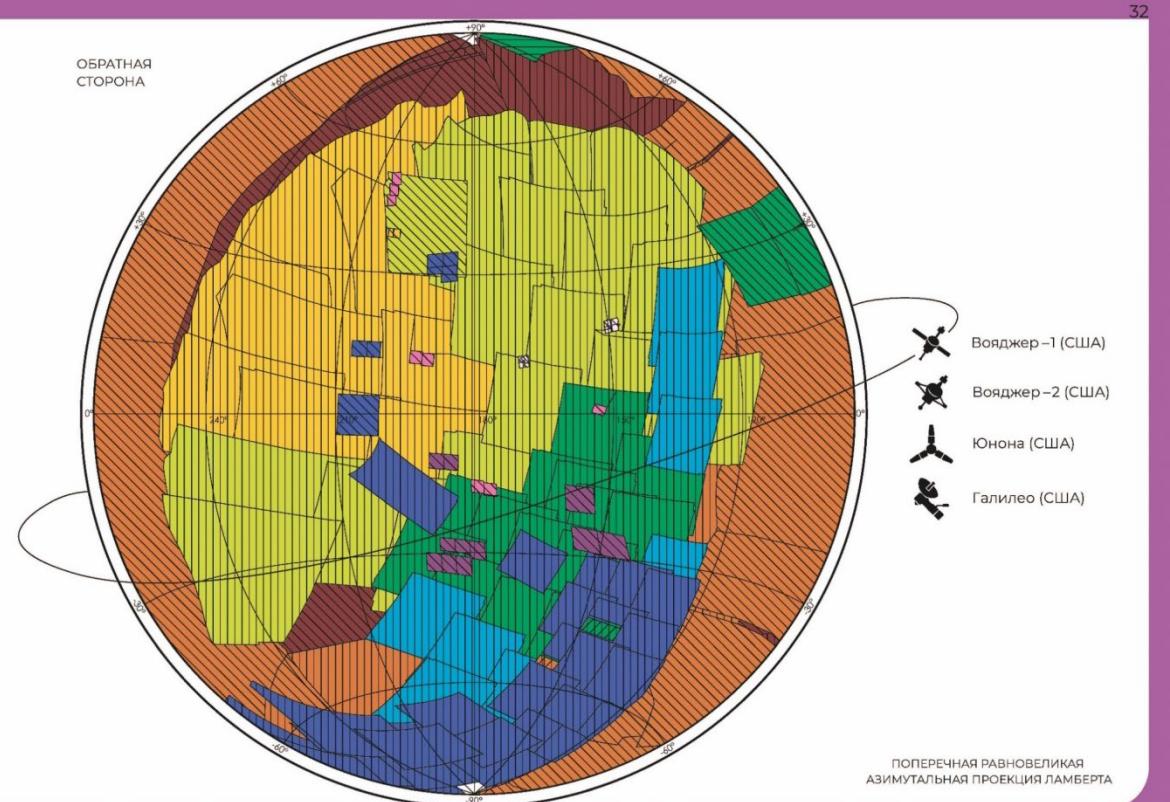
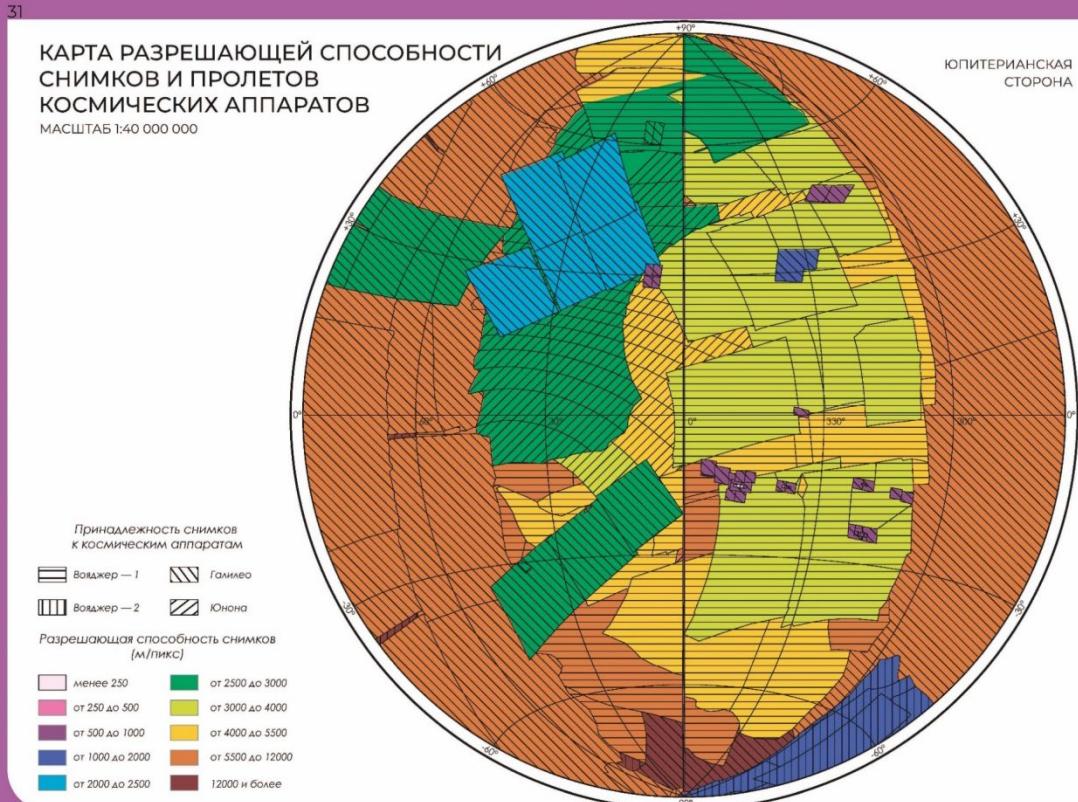
Карта цифровых моделей рельефа



Отображаемые объекты: цифровые модели рельефа на поверхность Ганимеда.



Карта разрешающей способности снимков и пролетов космических аппаратов



Отображаемые объекты: порезы космических снимков, классифицированные по значению разрешающей способности и принадлежности КА; пролеты КА.



Описание разделов атласа

IV

Региональные карты
Ганимеда

Карты полярных
регионов

Карты средних
широт

Карты
экваториальных
регионов

Подробный обзор
объектов и
локальных
особенностей
поверхности
регионов

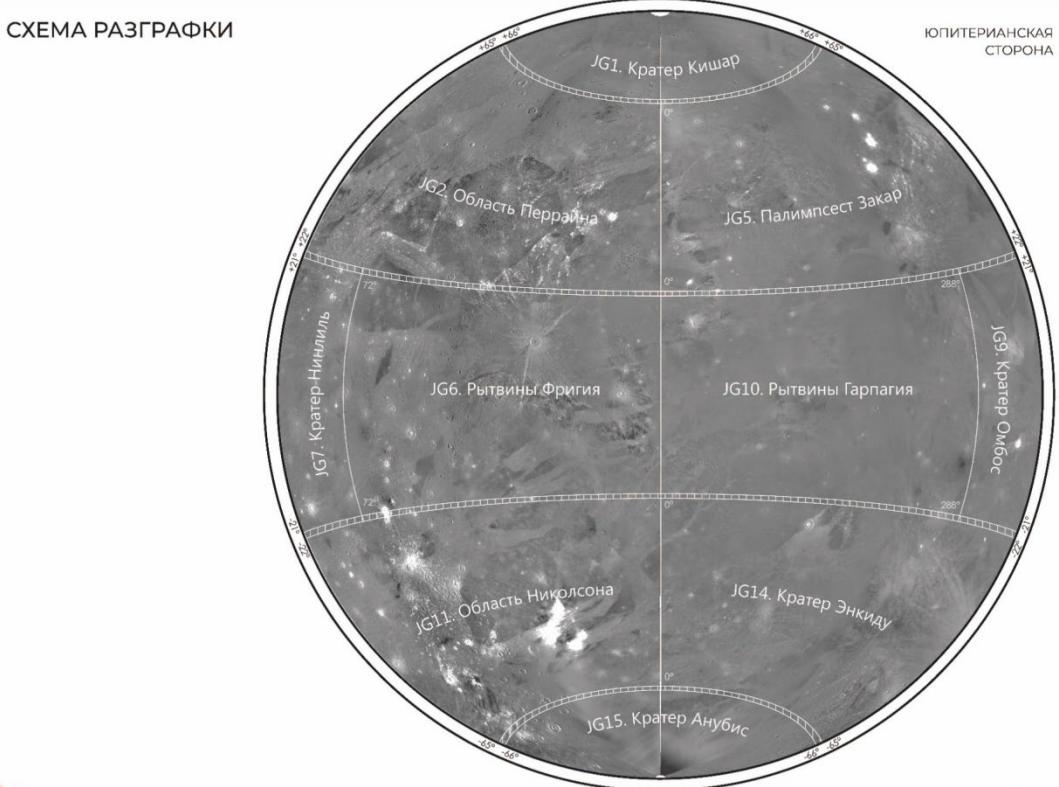
Масштаб: 1:15 000 000

Парные листы – карта поверхности и геологическая карта

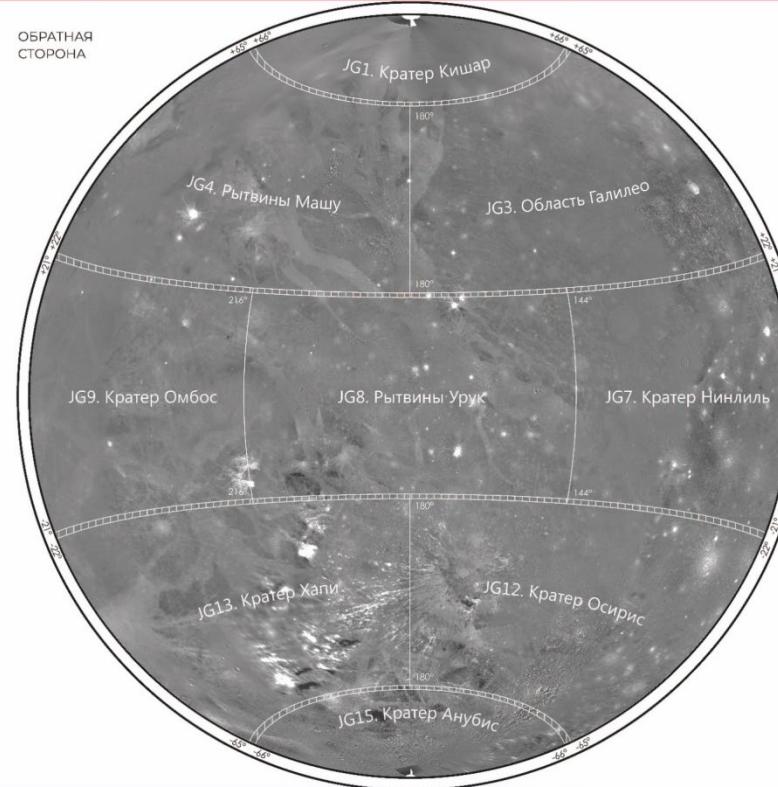


Схема разграфки региональных карт

35



36



Зоны перекрытия
крупномасштабных карт

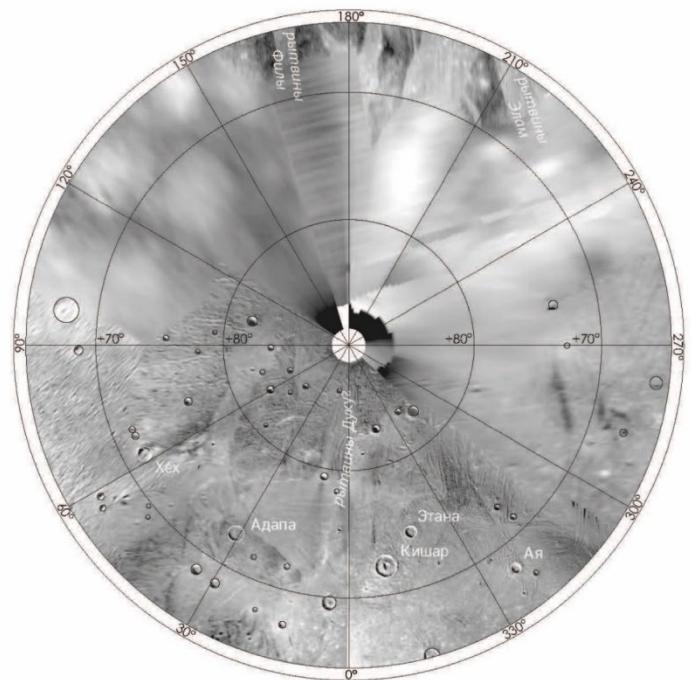
Зоны перекрытия листов региональных карт – 1°



Карты полярных регионов: JG1, JG15

37

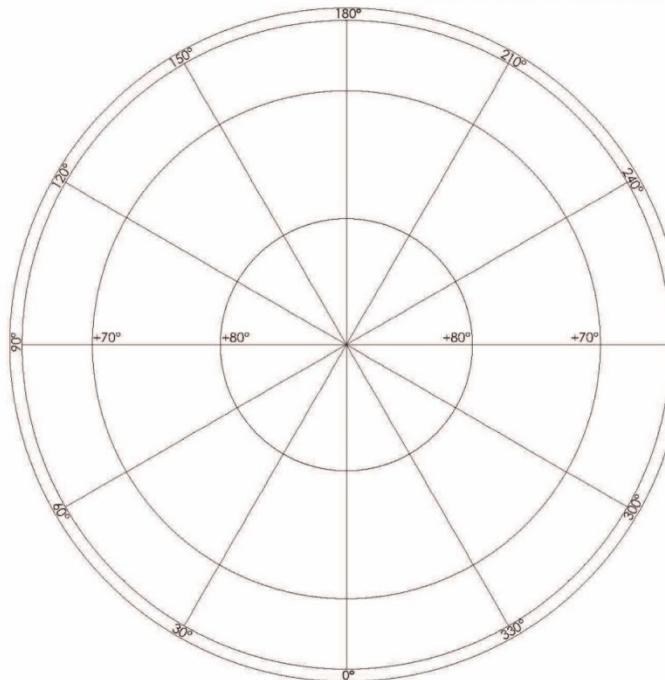
КАРТА JG1.
КРАТЕР КИШАР
МАСШТАБ 1:15 000 000



СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ АЗИМУТАЛЬНАЯ
ПРОЕКЦИЯ

38

КАРТА JG1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ
КРАТЕР КИШАР
МАСШТАБ 1:15 000 000



СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ АЗИМУТАЛЬНАЯ
ПРОЕКЦИЯ

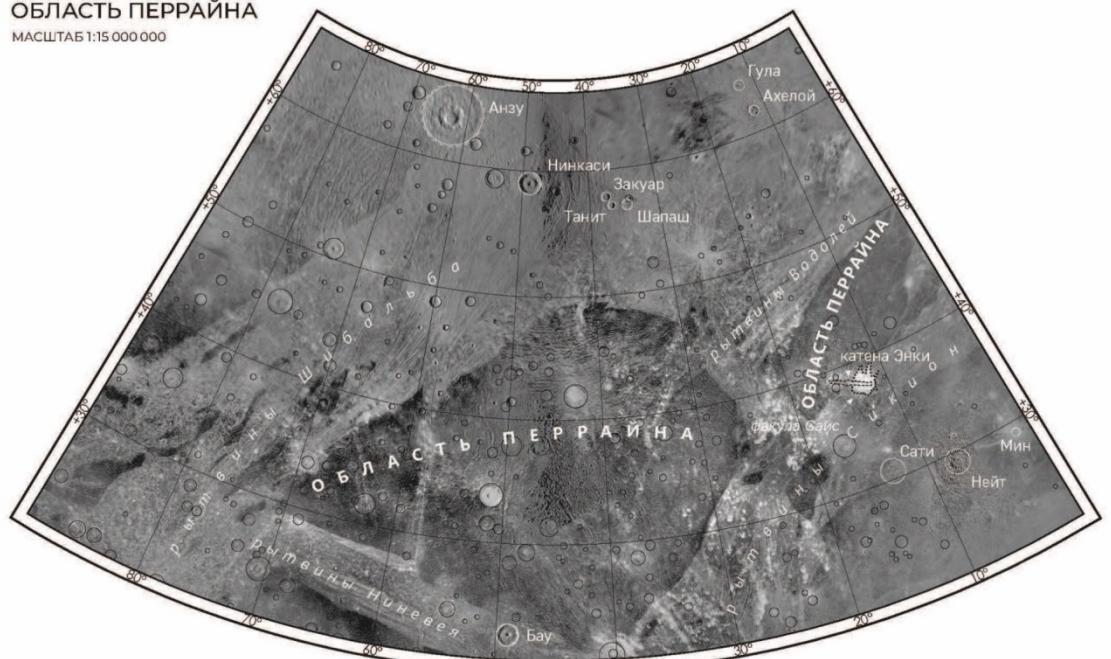
Математическая основа: стереографическая азимутальная проекция;
Границы проектирования: от $\phi 90^\circ$ до $\phi 65^\circ$; шаг сетки: $\Delta\phi = 10^\circ$, $\Delta\lambda = 30^\circ$.



Карты средних широт: JG2-JG5, JG11-JG14

41

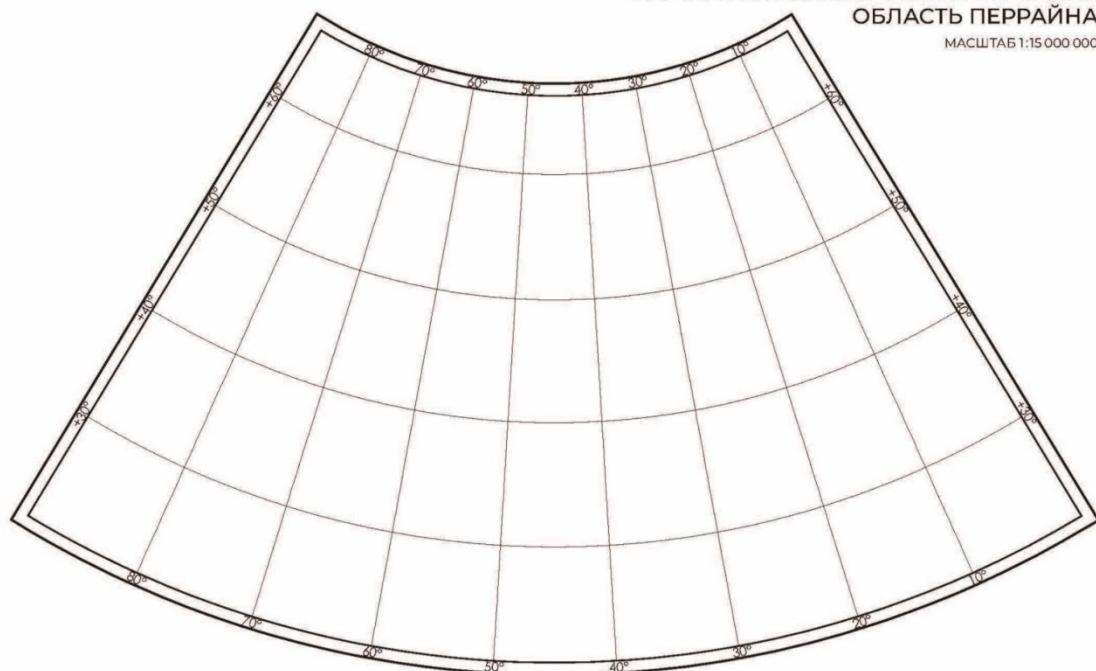
КАРТА JG2.
ОБЛАСТЬ ПЕРРАЙНА
МАСШТАБ 1:15 000 000



РАВНОПРОМЕЖУТОЧНАЯ КОНИЧЕСКАЯ
ПРОЕКЦИЯ ЛАМБЕРТА

42

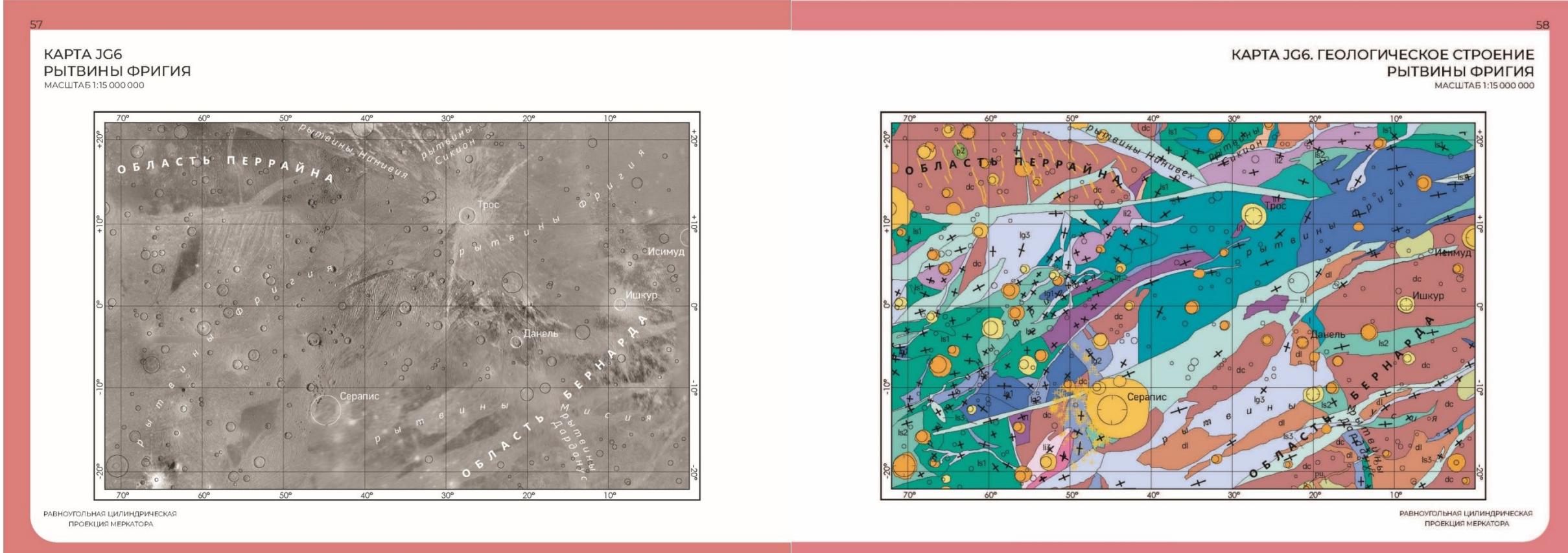
КАРТА JG2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ
ОБЛАСТЬ ПЕРРАЙНА
МАСШТАБ 1:15 000 000



РАВНОПРОМЕЖУТОЧНАЯ КОНИЧЕСКАЯ
ПРОЕКЦИЯ ЛАМБЕРТА

Математическая основа: равнопромежуточная коническая проекция Ламберта со следующими главными параллелями $y_1=32^{\circ}30'$ и $y_2=54^{\circ}30'$;
Границы проектирования: от $\phi 66^{\circ}$ до $\phi 21^{\circ}$; шаг сетки: $\Delta\phi = \Delta\lambda = 10^{\circ}$.

Карты экваториальных широт: JG6-JG10



Математическая основа: нормальная цилиндрическая проекция Меркатора;
Границы проектирования: от $\phi+22^{\circ}$ до $\phi-22^{\circ}$; шаг сетки: $\Delta\phi = \Delta\lambda = 10^{\circ}$.



Разработка шрифтового оформления и условных обозначений

9

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ для деталей рельефа поверхности

на обзорных картах масштаба 1: 40 000 000	на крупномасштабных картах масштаба 1: 15 000 000	пояснение к терминологии
Область Мария		
борозды Зу	борозды Зу	обширный регион с темной, древней поверхностью с преобладанием параллельных борозд, протяженная структура со светлой, молодой поверхностью
рытвины Урх		
Кишар	Кишар	кратер
катена Энки	катена Энки	цепочка кратеров
Анзу	Анзу	древний кратер, рельеф которого выровнялся благодаря движению ледниковой поверхности
факула Дандера	факула Дандера	область с высоким алебафом
латера Муса	латера Муса	кратер неправильной или сложной формы

*Изогипсовые кратеры и валикимесы на картах масштаба 1: 15 000 000 выделены белой обводкой: подпись областей, борозд и ритвии на геологических картах выделены черной обводкой

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ для карт геологического строения поверхности

СВЕТЛЫЙ МАТЕРИАЛ

СВЕТЛЫЙ БОРОЗДЧАТЫЙ МАТЕРИАЛ

Материя поверхности с относительно высоким или средним алебафом, характеризующийся плотным расположением бороздчатых структур. В пределах каждой области светлого бороздчатого материала борозды имеют сложное расположение между ними и ориентацию:

- lg1 Старый бороздчатый материал
- lg2 Промежуточный бороздчатый материал
- lg3 Молодой бороздчатый материал

СВЕТЛЫЙ ГЛАДКИЙ МАТЕРИАЛ

Материя поверхности с относительно высоким или средним алебафом, характеризующийся гладкой поверхностью с слабо выраженными линейными структурами. Эти линейные структуры в пределах одного участка имеют однозначное расположение и ориентацию между ними. Гладкий участок поверхности обычно определяется бороздчатыми структурами:

- ls1 Старый гладкий материал
- ls2 Промежуточный гладкий материал
- ls3 Молодой гладкий материал

СВЕТЛЫЙ СМЕШАННЫЙ МАТЕРИАЛ

Материя поверхности с относительно высоким или средним алебафом, сочетающий участки гладкой и бороздчатой поверхности. Борозды имеют нерегулярную ориентацию и различное расстояние между ними. Светлый смешанный материал можно было бы разделить на более мелкие участки бороздчатого и гладкого материала, если бы их размер превысил минимальный порог ображения на карте:

- ls1 Старый смешанный материал
- ls2 Промежуточный смешанный материал
- ls3 Молодой смешанный материал

ПРОЧИЙ СВЕТЛЫЙ МАТЕРИАЛ

Материя поверхности с относительно высоким алебафом, полученный в условиях сеймик с недостаточным качеством, при котором морфологические различия между бороздчатым, гладким и смешанным светлым материалом невозможно различить.

СЕТЧАТЫЙ МАТЕРИАЛ

Материя с сильно выраженным алебафом. Представляет собой смесь ранее существовавших светлых и темных единиц поверхности, из которых наложилась умеренная тектоническая деформация в двух взаимно перпендикулярных направлениях:

- g Сетчатый материал

ТЕМНЫЙ МАТЕРИАЛ

d Тёмный смешанный материал

Материя поверхности с относительно низким алебафом, полученный в условиях недостаточного качества сеймик, при котором невозможно различить морфологические отличия между кратерованными и линейными структурами. Представляет собой смесь тёмного кратерованного материала и тёмного линейного материала:

- dc Тёмный кратерованный материал

Материя поверхности с относительно низким алебафом и умеренной или высокой плотностью кратеров. Содержит как гладкие тёмные участки, так и более светлые буристые образования в локальных масштабах. Перекрываются и пересекаются всеми другими единицами и структурами. На некоторых участках наблюдаются борозды. Самая древняя сохранившаяся поверхность из Ганимеда:

- dl Тёмный линейный материал

Материя поверхности с относительно низким алебафом, характеризующийся преобладанием параллельных или нерегулярных борозд. Связан с древними светлыми материалами и сечатыми материалами. Представляет собой тёмный кратерованный материал, деформированный тектоническими процессами в ранний Гарпагианский период. Борозды, во всей видимости, являются результатом растяжения коры:

МАТЕРИАЛЫ УДАРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

МАТЕРИАЛЫ КРАТЕРОВ

Материя поверхности с относительно высоким или средним алебафом, характеризующийся плотным расположением бороздчатых структур. В пределах каждой области светлого бороздчатого материала борозды имеют сложное расположение между ними и ориентацию:

- c1 Разрушенные кратерные материалы (самые древние и наиболее разрушенные ударные кратеры)
- c2 Частично разрушенные кратерные материалы (ударные кратеры среднего возраста, разрушенные в умеренной степени)
- c3 Свежие кратерные материалы (образованы в поздний Гарпагианский период)
- cu Смешанные кратерные материалы

Кратеры, полученные при недостаточном качестве сеймик, из-за чего невозможно различить, являются ли они разрушенными, частично разрушенными или свежими. Представляют собой смесь вышеописанных типов кратерных материалов:

МАТЕРИАЛЫ БАССЕЙНА

Материя поверхности, формирующаяся кратерный бассейн Гильгамеш. Образованы в результате краиневого удара на Ганимеде со временем Николсонского периода:

- bs Гладкий материал бассейна

Внешнее кольцо выброса с ровной текстурой, окружающее бассейн Гильгамеш. Сопровождается вторичными кратерами:

- br Рельефно-шероховатый материал бассейна

Внутреннее кольцо с холмистым рельефом и массивными выступами, образованное при обрушении края бассейна.

- bi Материя внутренних равнин бассейна

Гладкий купол в центре бассейна, сформированный за счёт выдавливания льда из глубин после удара.

МАТЕРИАЛЫ ПАЛИМПСЕСТОВ

Участки с высоким или средним алебафом, образующие вложенные, округлые или слегка эллиптические отложения. Внутренняя текстура выделяется гладкой до буристой. Часто содержит внутренние концентрические кольца. Интерпретируются как остатки круглых ударных кратеров, сформировавшихся в период высокого теплового потока и быстрой вязкой текtonики, между Николсонским и ранним Гарпагианским периодами:

pl Старый палимпсестовый материал

Палимпсесты, изложенные из тёмных материалов и прорезанных светлыми. Относятся к крупным ударным кратерам николсонского периода:

p2 Молодой палимпсестовый материал

Палимпсесты, изложенные из светлых материалов, иногда также из тёмных. Представляют собой крупные ударные кратеры, сформировавшиеся в гарпагианский или ранний гильгамешевский период:

pr Смешанный палимпсестовый материал

Палимпсесты, не контактирующие со светлыми породами, что не позволяет определить их возраст. Содержит как молодые, так и древние палимпсесты:

pi Материя внутренних равнин палимпсестов

Округлые участки гладкой поверхности в центре некоторых палимпсестов. Сформированы в результате выдавливания пластичного льда во время стадии перебортирования кратеров:

ПРОЧИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Борозды

Линейные или изогнутые впадины с приподнятыми краями, встречаются в тёмных кратерованных породах. Образует фрагментарные концентрические группы:

Ритвины

Обычно представляют собой плоские изогнутые параллельные гряды и впадины, иногда — одиночными изогнутыми краинами. Наглухо на светлые, сечатые и тёмные линейные материалы:

Впадины

Плоскодонные углубления с обрывистыми внутренними стенками, часто с разрывом с одной стороны:

Кратеры

Кратеры с центральной горкой

Вторичные кратеры

Круглостенные купола с плоской вершиной в центре круглых кратеров, часто окружены кольцевой впадиной:

Группы радиоцентрических мелких кратеров, окружающих выбросы от круглых свежих кратеров молодых палимпсестов и бассейна Гильгамеша:



Разработка шрифтового оформления и условных обозначений

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ для деталей рельефа поверхности

на обзорных картах
масштаба 1:40 000 000

ОБЛАСТЬ МАРИЯ

борозды Зу

рытвины Урук



Кишар



катена Энки



Анзу



факула Дандера



патера Муса

на крупномасштабных картах
масштаба 1:15 000 000

ОБЛАСТЬ МАРИЯ

борозды Зу

рытвины Урук



Кишар



катена Энки



Анзу



факула Дандера



патера Муса

ПОЯСНЕНИЯ К ТЕРМИНОЛОГИИ

обширный регион с темной, древней поверхностью

обширный регион с темной, древней поверхностью с преобладанием параллельных борозд
протяженная структура со светлой, молодой поверхностью

кратер

цепочка кратеров

древний кратер, рельеф которого выровнялся
благодаря движению ледяной поверхности

область с высоким альбедо

кратер неправильной или сложной формы

*именнованные кратеры и палимпсесты на картах масштаба 1:15 000 000 выделены белой обводкой; подписи областей, борозд и рыхтвин на геологических картах выделены черной обводкой

МАТЕРИАЛЫ ПАЛИМПСЕСТОВ

Участки с высоким или средним альбедо, образующие плоские, округлые или слегка эллиптические отложения. Внутренняя текстура варьирует от гладкой до бугристой. Часто содержат внутренние концентрические кольца. Интерпретируются как остатки крупных ударных кратеров, сформировавшихся в период высокого теплового потока и быстрой вязкой релаксации, между Николсоновским и ранним Гарпагианским периодами.

p1

Старый палимпсестовый материал

Палимпсесты, наложенные на тёмные материалы и прорезанные светлыми. Относятся к крупным ударным кратерам николсоновского периода.

p2

Молодой палимпсестовый материал

Палимпсесты, наложенные на светлые материалы, иногда также на тёмные. Представляют собой крупные ударные кратеры, сформировавшиеся в гарпагианский или ранний гильгамешанский период.

р1

Смешанный палимпсестовый материал

Палимпсесты, не контактирующие со светлыми породами, что не позволяет определить их возраст. Содержат как молодые, так и древние палимпсесты.

р1

Материалы внутренних равнин палимпсестов

Округлые участки гладкой поверхности в центре некоторых палимпсестов. Сформированы в результате выдавливания пластиичного льда из недр во время стадии переформирования кратеров.

ПРОЧИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Борозды

Линейная или изогнутая впадина с приподнятыми краями, встречается в тёмных кратерированных породах. Образует фрагментарные концентрические группы.

Рыхтвины

Обычно представлены плотными наборами параллельных гряд и впадин, иногда — одиночными изогнутыми канавками. Налегают на светлые, сетчатые и тёмные линейные материалы.

Впадины

Плоскодонные углубления с обрывистыми внутренними стенками, часто с разрывом с одной стороны.

Кратеры

Кратеры с центральной горкой

Кругостенные куполы с плоской вершиной в центре крупных кратеров, часто окружены кольцевой впадиной.

Вторичные кратеры

Группы равномерных мелких кратеров, окружающих выбросы от крупных свежих кратеров молодых палимпсестов и бассейна Гильгамеш.



Разработка шрифтового оформления и условных обозначений

№ №	Название	Координаты центра	Разрешение м/пикс
A	Рытвины Арбела	-15.5°, 347.5°	180
C	Рытвины Гарпагия	-15°, 319.5°	160
D	Вблизи кратера Энкиду	-24°, 318°	480
E	Катена Энки	+39°, 14°	100
K	Кратер Кишар	+68°, 359°	800
L	Область Перрайна	+50°, 33°	1660
T	Кратер Трос	+11°, 27°	200
G	Вблизи кратера Эль	+1°, 153°	1800
H	Кратер Исида	-68°, 180°	1100
U	Область Мария	-17°, 155°	2100
V	Рытвины Сиппар	-27°, 150°	1660



С 100 Y 100

Y 100

M 100 Y 100

Разрешающая способность снимков
(м/пикс)

менее 250	от 2500 до 3000
от 250 до 500	от 3000 до 4000
от 500 до 1000	от 4000 до 5500
от 1000 до 2000	от 5500 до 12000
от 2000 до 2500	12000 и более

Вояджер-1 (США)

Вояджер-2 (США)

Юнона (США)

Галилео (США)

Принадлежность снимков
к космическим аппаратам

Вояджер-1	Галилео
Вояджер-2	Юнона



Результаты исследования

- Обновлена существующая фотомозаика поверхности Ганимеда;
- Для проектируемых региональных карт создан каталог кратеров от 1 км в диаметре.
- Разработана технология адаптации геологической основы карты USGS 2014г. для серии геологических карт в атлас;
- Проработана структура и содержание томов «Атласа галилеевых спутников» на примере атласа «Том 3. Ганимед»
- Разработан проект атласа «Том 3. Ганимед» в рамках многотомного издания «Атлас галилеевых спутников».



Спасибо за внимание!

