



# 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](mailto:mexlab@miigaik.ru)

[nvlad.9999@gmail.com](mailto:nvlad.9999@gmail.com)

[khlestunovavp@gmail.com](mailto:khlestunovavp@gmail.com)

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



## Цель исследования

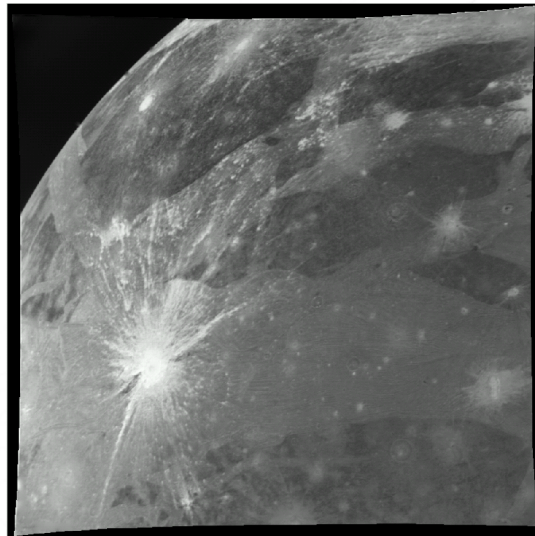
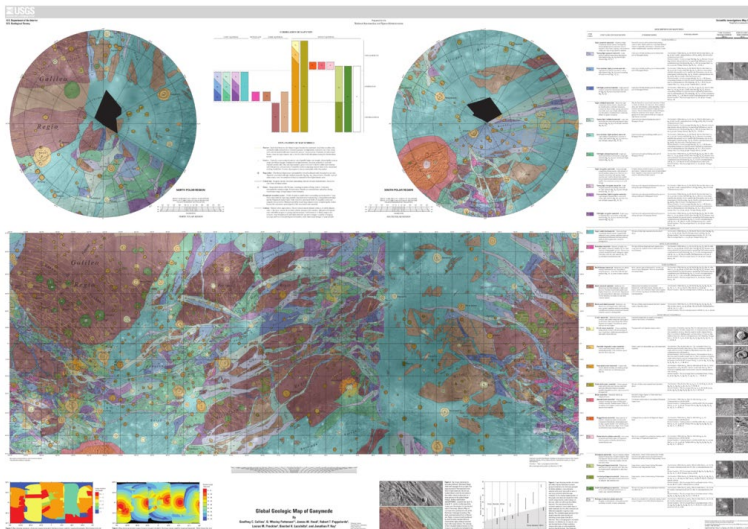
Создание унифицированного картографического произведения, которое обобщает и систематизирует имеющуюся информацию о Ганимеде в одном издании.

## 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

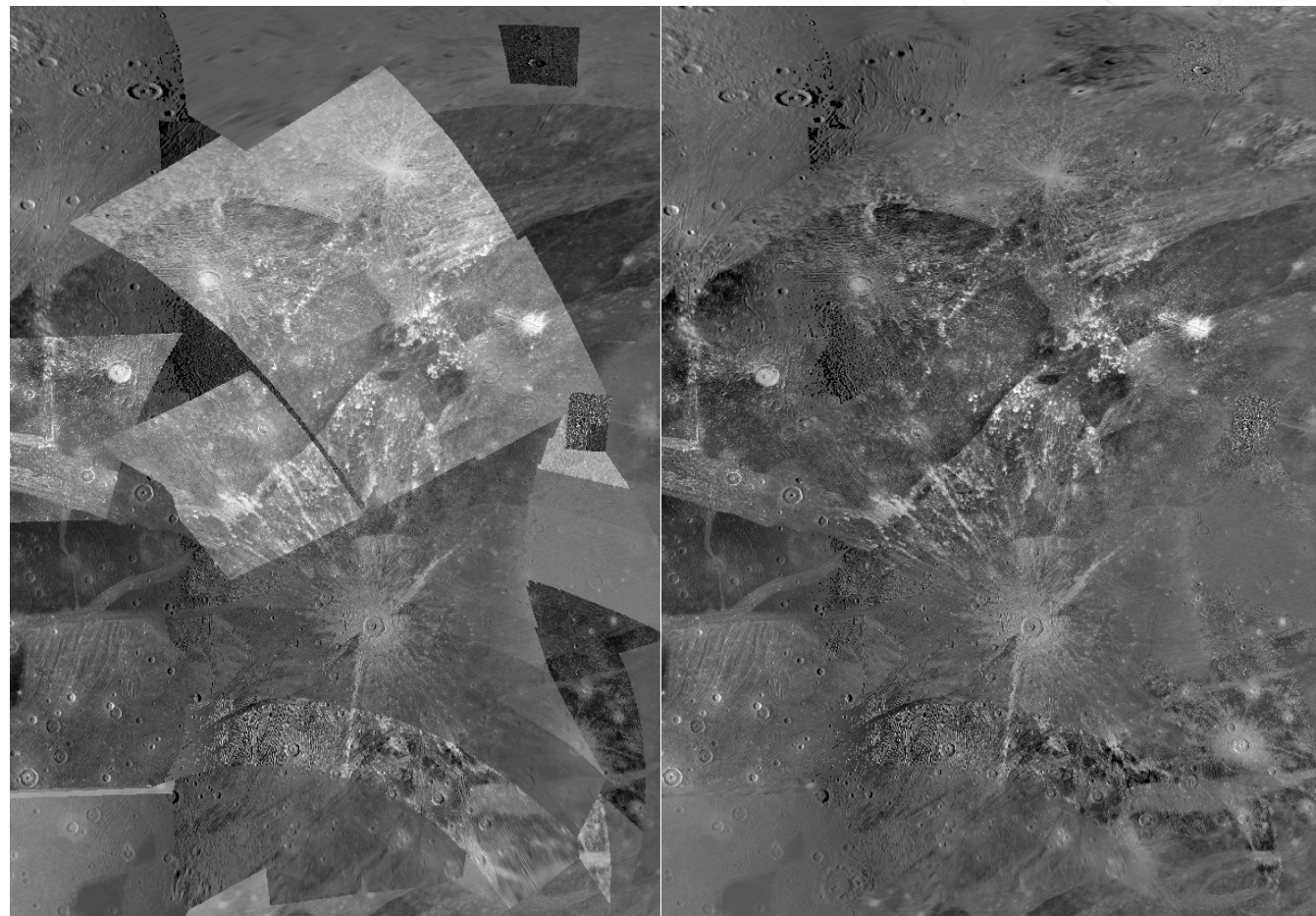
- Изображения, полученные в результате космических миссий в период с 1979 по 2021гг.;
- Подборка научных публикаций по теме исследования;
- Существующий картографический материал;
- Методические и редакционные указания по атласному картографированию.





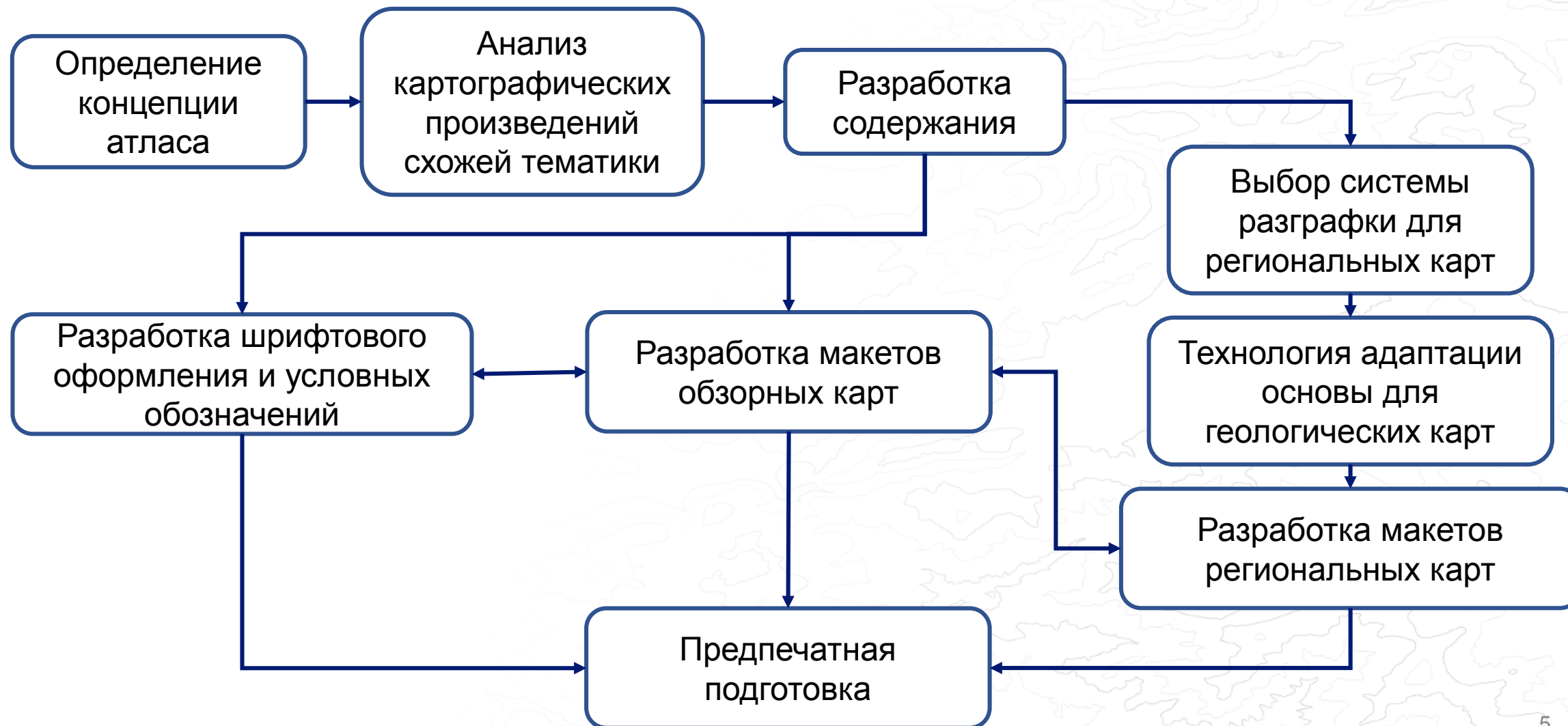
# Обновление фотомозаики

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 (A4);

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

III  
Обзорные карты  
Ганимеда

Карта поверхности

Карта цифровых моделей  
рельефа

Карта разрешающей  
способности снимков и  
пролетов космических  
аппаратов

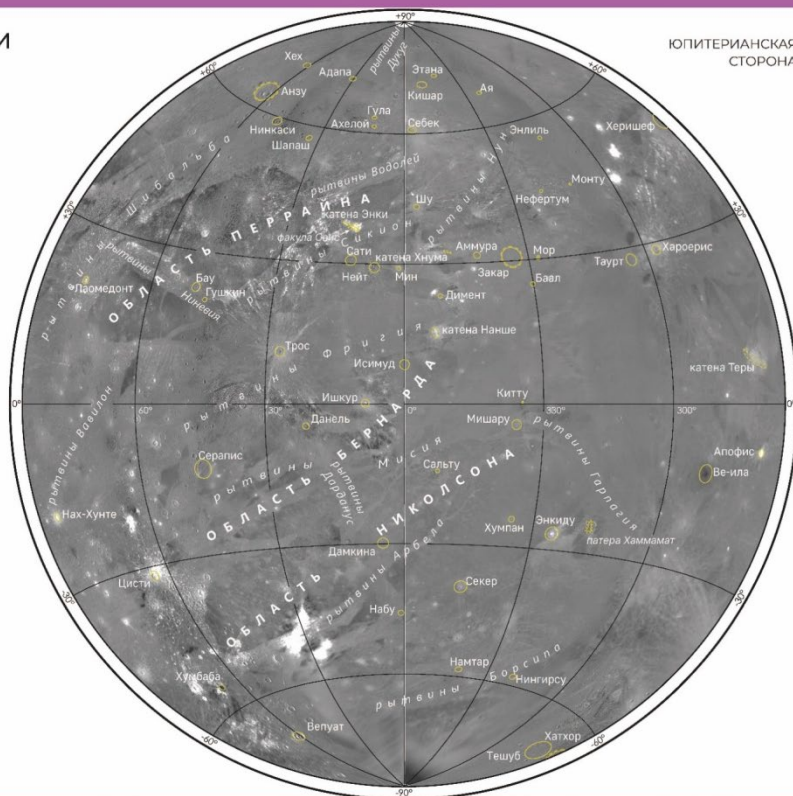
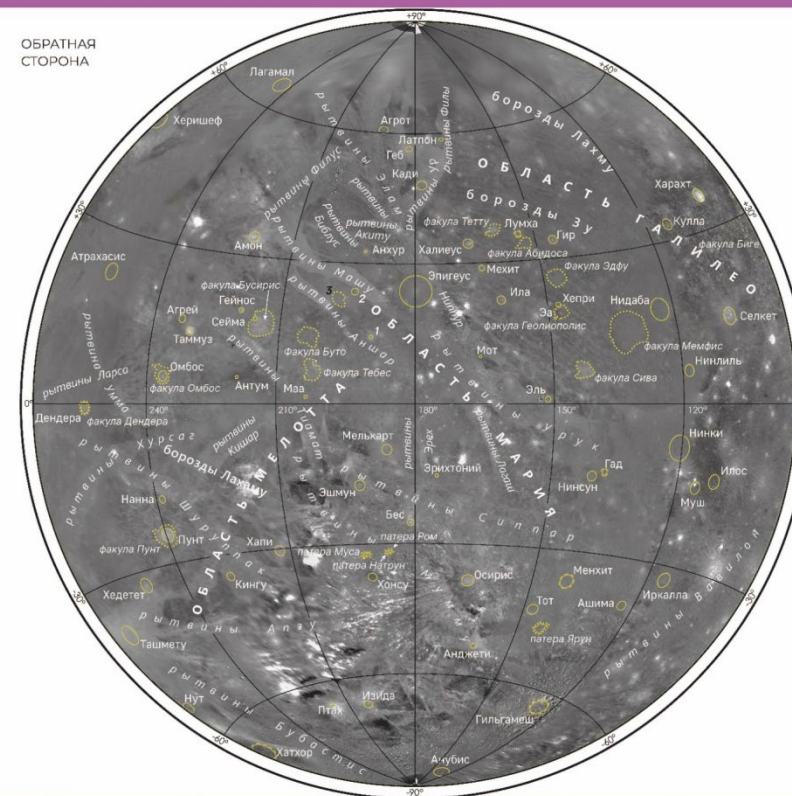
Математическая основа: поперечная азимутальная равновеликая проекция Ламберта

Масштаб: 1:40 000 000

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



## 27

ЮПИТЕРИАНСКАЯ  
СТОРОНАОБРАТНАЯ  
СТОРОНАПОПЕРЕЧНАЯ РАВНОВЕЛИКАЯ  
АЗИМУТАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ ЛАМБЕРТА

28



# Карта цифровых моделей рельефа

29

## КАРТА ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

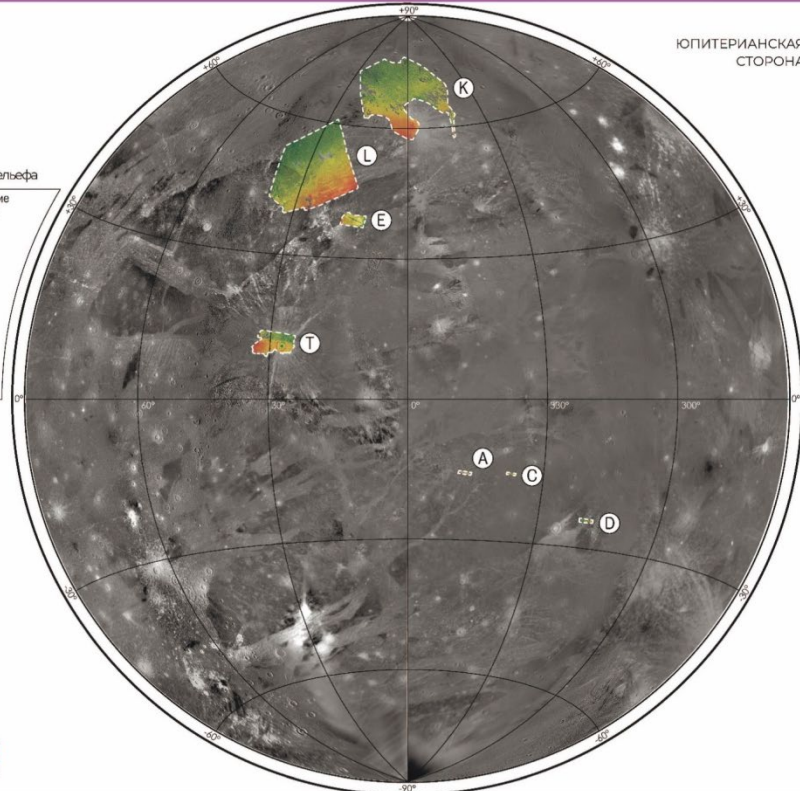
МАСШТАБ 1:40 000 000

Информация по цифровым моделям рельефа

№№	Название	Координаты центра	Разрешение м/пикс
(A)	рытвины Арбела	-15.5°, 347.5°	180
(C)	рытвины Гарпагия	-15°, 319.5°	160
(D)	вблизи кратера Эникду	-24°, 318°	480
(E)	катена Энии	+39°, 14°	100
(K)	кратер Кишар	+68°, 359°	800
(L)	область Перрайна	+50°, 33°	1660
(T)	кратер Трос	+11°, 27°	200

Шкала высот

Низко Выше



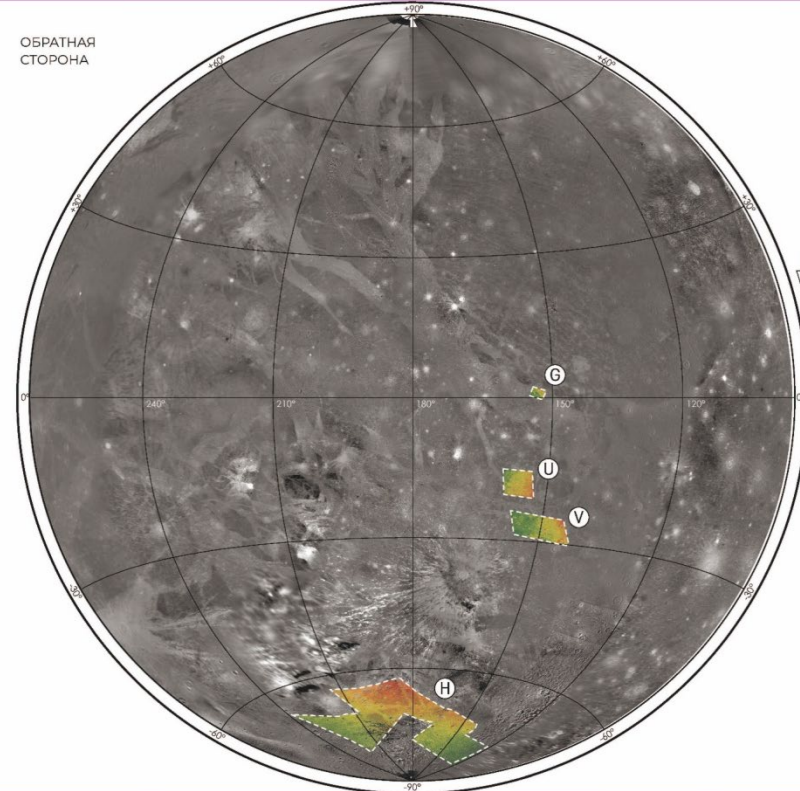
ЮПИТЕРИАНСКАЯ  
СТОРОНА

ОБРАТНАЯ  
СТОРОНА

30

Информация по цифровым моделям рельефа

Разрешение м/пикс	Координаты центра	Название	№№
1800	+1°, 153°	вблизи кратера Эль	(G)
1100	-68°, 180°	кратер Исиды	(H)
2100	-17°, 155°	область Марии	(U)
1660	-27°, 150°	рытвины Сиппар	(V)

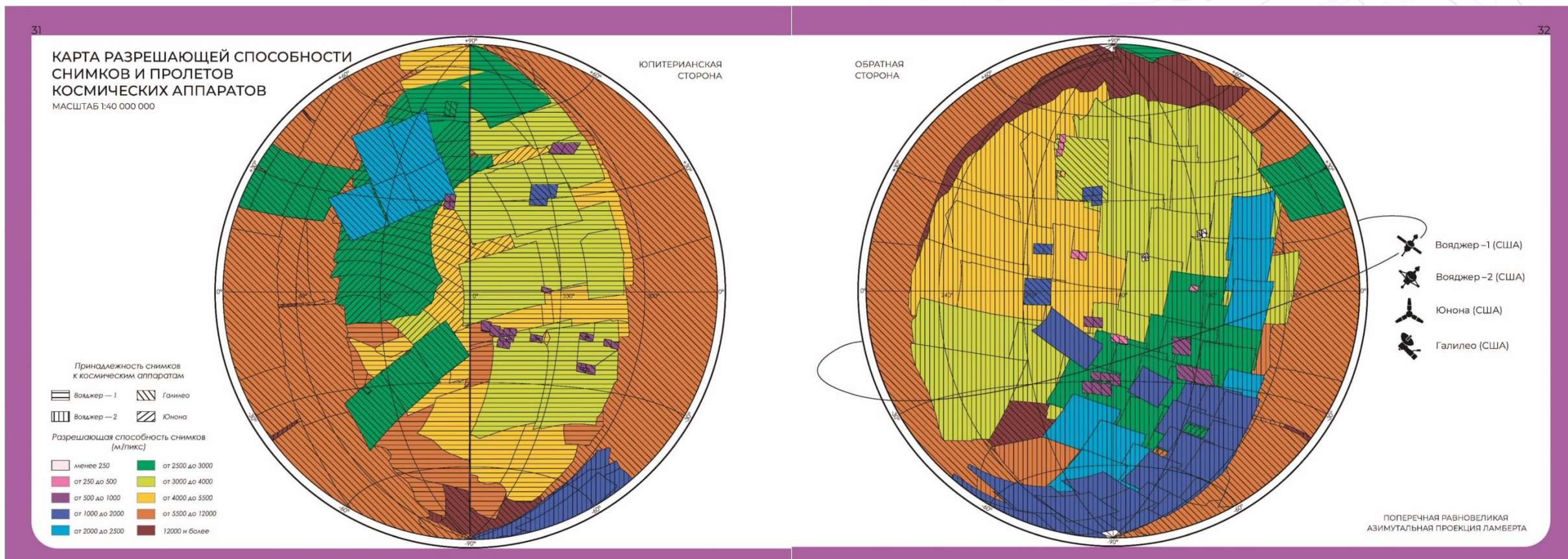


ПОПЕРЕЧНАЯ РАВНОВЕЛИКАЯ  
АЗИМУТАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ ЛАМБЕРТА

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

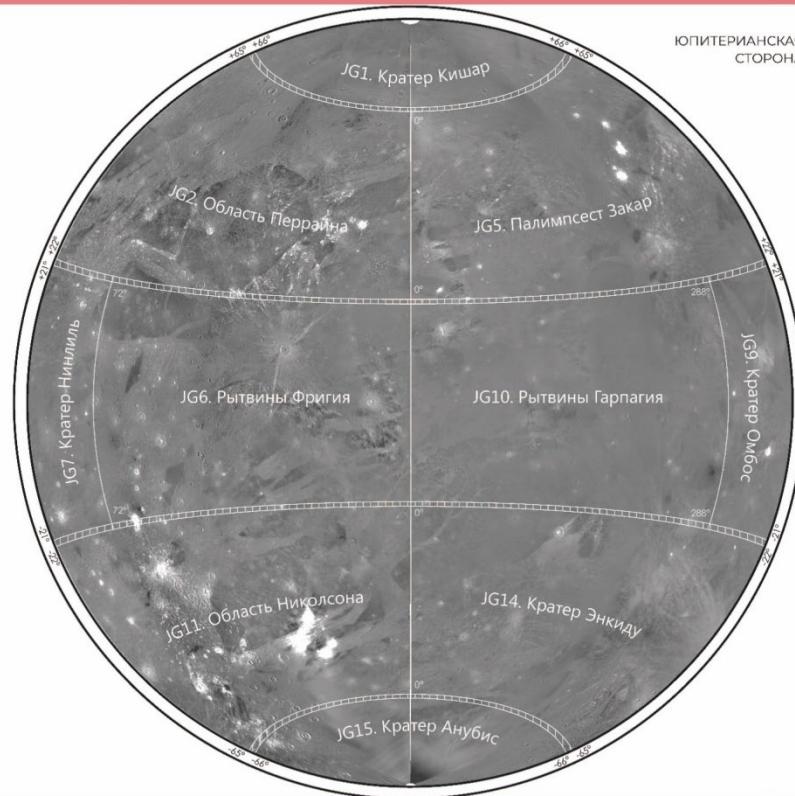
Масштаб: 1:15 000 000

Парные листы – карта поверхности и геологическая карта

# Схема разграфки региональных карт

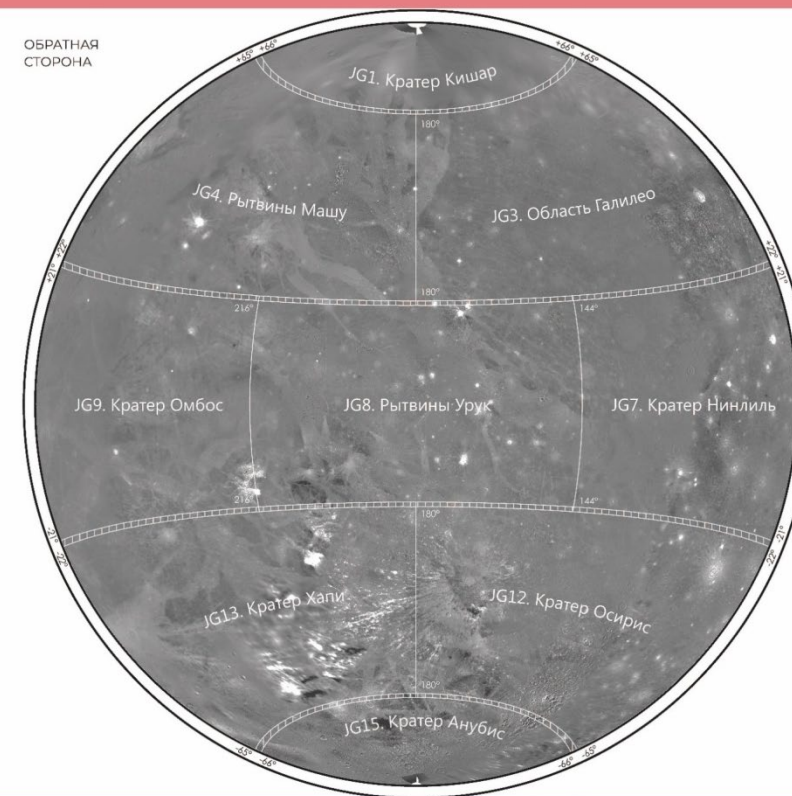
35

СХЕМА РАЗГРАФКИ



36

ОБРАТНАЯ  
СТОРОНА



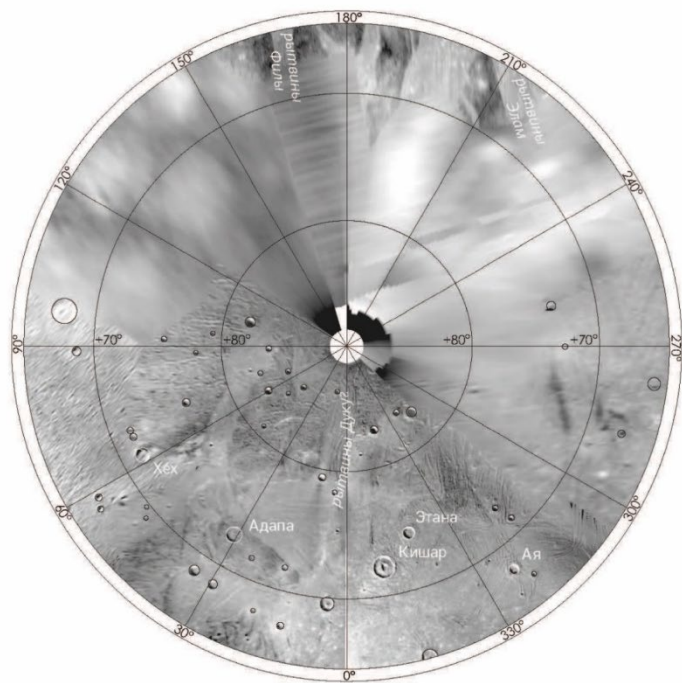
Зоны перекрытия  
кругомасштабных карт

Зоны перекрытия листов региональных карт – 1°

# Карты полярных регионов: JG1, JG15

37

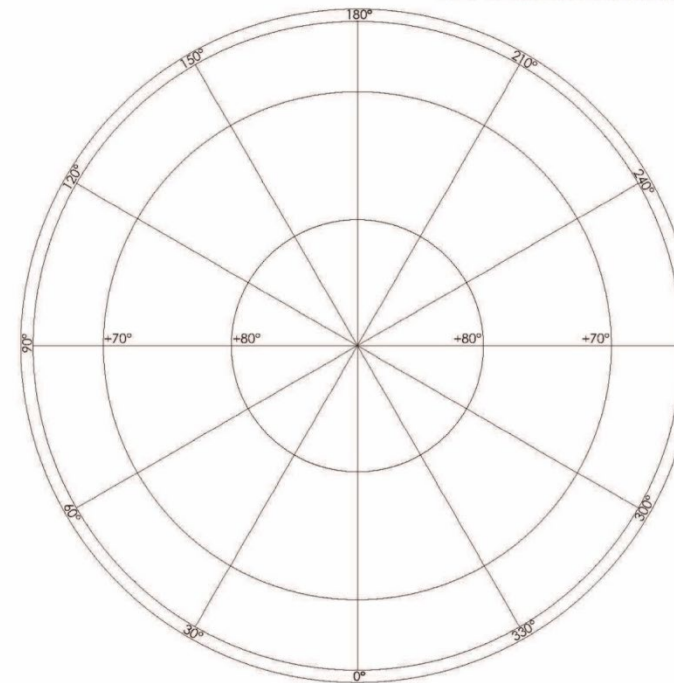
КАРТА JG1.  
КРАТЕР КИШАР  
МАСШТАБ 1:15 000 000



СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ АЗИМУТАЛЬНАЯ  
ПРОЕКЦИЯ

38

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



СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ АЗИМУТАЛЬНАЯ  
ПРОЕКЦИЯ

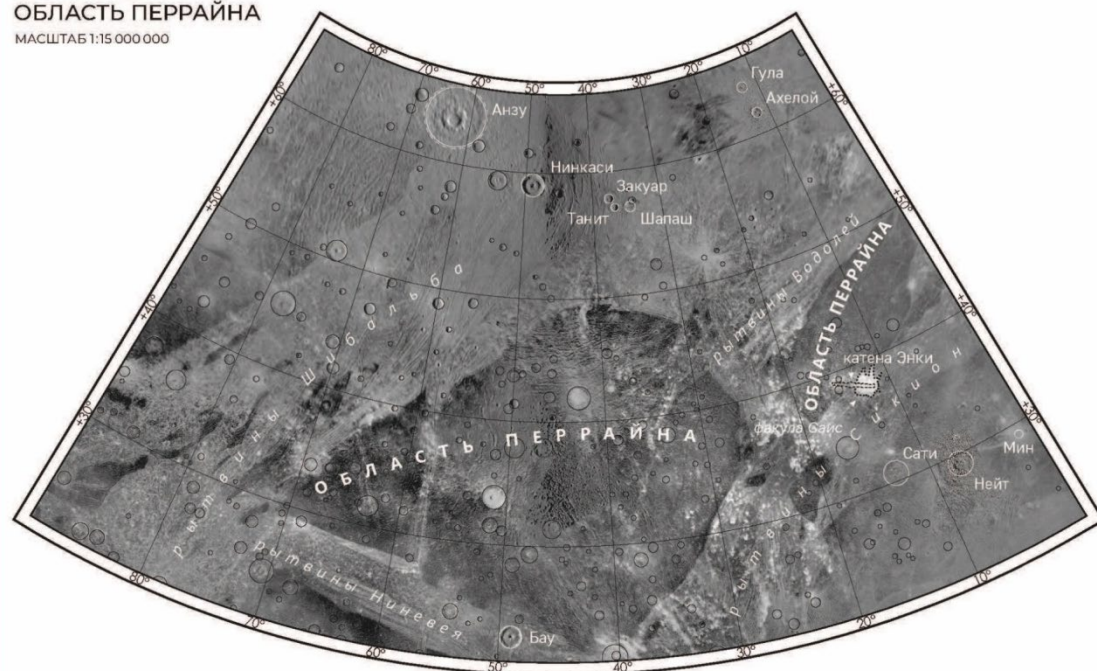
Математическая основа: стереографическая азимутальная проекция;  
Границы проектирования: от  $\varphi 90^\circ$  до  $\varphi 65^\circ$ ; шаг сетки:  $\Delta\varphi = 10^\circ$ ,  $\Delta\lambda = 30^\circ$ .



# Карты средних широт: JG2-JG5, JG11-JG14

41

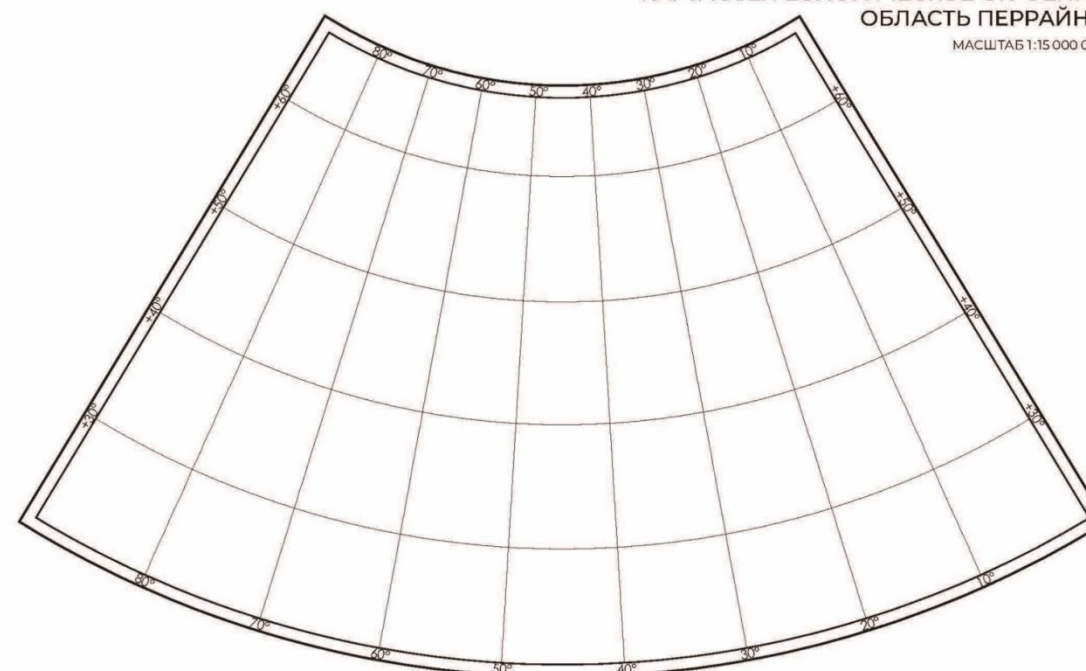
КАРТА JG2.  
ОБЛАСТЬ ПЕРРАЙНА  
МАСШТАБ 1:15 000 000



РАВНОПРОМЕЖУТОЧНАЯ КОНИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКЦИЯ ЛАМБЕРТА

42

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



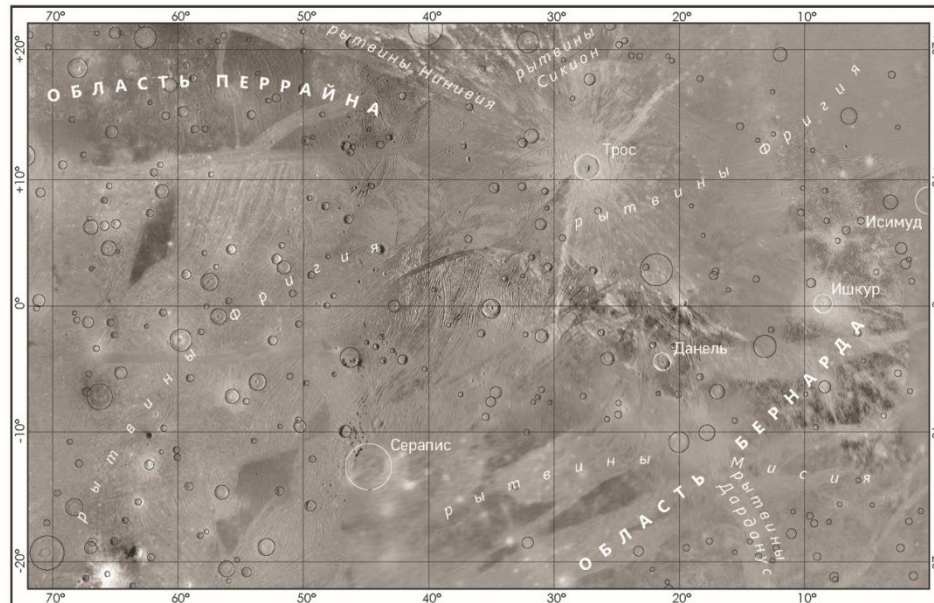
РАВНОПРОМЕЖУТОЧНАЯ КОНИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКЦИЯ ЛАМБЕРТА

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

57

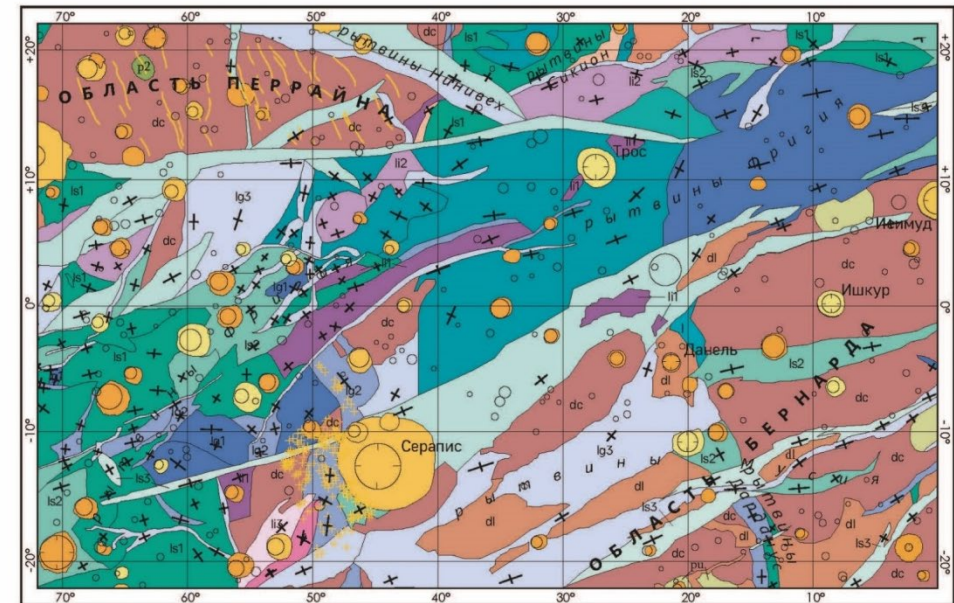
КАРТА JG6  
РЫТВИНЫ ФРИГИЯ  
МАСШТАБ 1:15 000 000



РАВНОУГОЛЬНАЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКЦИЯ МЕРКАТОРА

58

КАРТА JG6. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ  
РЫТВИНЫ ФРИГИЯ  
МАСШТАБ 1:15 000 000



РАВНОУГОЛЬНАЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКЦИЯ МЕРКАТОРА

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





# Разработка шрифтового оформления и условных обозначений

9

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ для деталей рельефа поверхности

на обзорных картах  
масштаба 1:40 000 000

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; сложенная структура со светлой, молодой поверхностью

\*именованные кратеры и впадины, на картах масштаба 1:15 000 000 выделяются белой обводкой; водносы областей, борозд и рытвин на геологических картах выделяются черной обводкой

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ для карт геологического строения поверхности

### СВЕТЛЫЙ МАТЕРИАЛ

#### СВЕТЛЫЙ БОРОЗДАТЫЙ МАТЕРИАЛ

Материал поверхности с относительно высоким или средним альбедо, характеризующийся плотным расположением борозчатых структур. В пределах каждой области светлого борозчатого материала борозды имеют сложное расстояние между ними и ориентацию.

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

#### СВЕТЛЫЙ ГЛАДКИЙ МАТЕРИАЛ

Материал поверхности с относительно высоким или средним альбедо, характеризующийся гладкой поверхностью с слабо выраженными линейными структурами. Эти линейные структуры в пределах одного участка имеют одинаковое расстояние и ориентацию между ними. Границы участков гладкой поверхности обычно определяются борозчатыми структурами.

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

#### СВЕТЛЫЙ СМЕШАННЫЙ МАТЕРИАЛ

Материал поверхности с относительно высоким или средним альбедо, состоящий из участков гладкой и борозчатой поверхности. Борозды имеют нерегулярную ориентацию и разное расстояние между ними. Светлый смешанный материал можно было бы разделить на более мелкие участки борозчатого и гладкого материала, если бы на размер применялся минимальный порог отображения на карте.

- li1 Старый смешанный материал
- li2 Промежуточный смешанный материал
- li3 Молодой смешанный материал

#### ПРОЧИЙ СВЕТЛЫЙ МАТЕРИАЛ

Материал поверхности с относительно высоким или средним альбедо, полученный в условиях съемки с недостаточным качеством, при котором морфологическое различие между борозчатым, гладким и смешанным светлым материалом невозможно различить.

- l Светлый прочий материал

#### СЕТЧАТЫЙ МАТЕРИАЛ

Материал с сильно возмущенным альбедо. Представляет собой смесь ранее существовавших светлых и темных единиц поверхности, на которую наложилась умеренная тектоническая деформация в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

- r Сетчатый материал

### ТЕМНЫЙ МАТЕРИАЛ

#### Темный смешанный материал

Материал поверхности с относительно низким альбедо, полученный в условиях недостаточного качества съемки, при котором невозможно различить морфологические отличия между кратерированным и линейным структурами. Представляет собой смесь темного кратерированного материала и темного линейного материала.

#### Темный кратерированный материал

Материал поверхности с относительно низким альбедо и умеренной или высокой плотностью кратеров. Содержит как гладкие темные участки, так и более светлые буристые образования в локальных впадинах. Перекашивается и пересекается всеми другими единицами и структурами. На некоторых участках наблюдаются борозды. Самая древняя сохранившаяся поверхность на Ганимеде.

#### Темный линейный материал

Материал поверхности с относительно низким альбедо, характеризующийся преобладанием параллельных или нерегулярных борозд. Связан с древними светлыми материалами и сетчатым материалом. Представляет собой темный кратерированный материал, деформированный тектоническими процессами в ранний Гарпагидский период. Борозды, во всей видимости, являются результатом растяжения коры.

### МАТЕРИАЛЫ УДАРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

#### МАТЕРИАЛЫ КРАТЕРОВ

Материал поверхности с относительно высоким или средним альбедо, характеризующийся плотным расположением борозчатых структур. В пределах каждой области светлого борозчатого материала борозды имеют сложное расстояние 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 Гарпагидский период)
- cu Смешанные кратерные материалы

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

#### МАТЕРИАЛЫ БАССЕЙНА

Материал поверхности, формирующий кратерный бассейн Галагем. Образован в результате крупнейшего удара на Ганимеде со времени Николосовского периода.

#### Гладкий материал бассейна

Высшие кольца выбросов с ровной текстурой, окружающие бассейн Галагем. Сопровождается вторичными кратерами.

#### Рельефо-широкоугольный материал бассейна

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

#### Материалы внутренних равнин бассейна

Гладкий купол в центре бассейна, сформированный за счет выталкивания яда из глубин после удара.

### МАТЕРИАЛЫ ПАЛИМИСЕСТОВ

Участки с высоким или средним альбедо, образующие плоские, округлые или слегка эллиптические образования. Внутренняя текстура варьирует от гладкой до буристой. Часто содержит внутренние концентрические кольца. Интерпретируется как остатки крупных ударных кратеров, сформировавшихся в период высокого теплого ядра и быстрого впадения равнины, между Николосовским и ранним Гарпагидским периодами.

#### Старый палимисестовый материал

Палимисесты, наложенные на темные материалы и прорезанные светлыми. Относятся к крупным ударным кратерам николосовского периода.

#### Молодой палимисестовый материал

Палимисесты, наложенные на светлые материалы, иногда также на темные. Представляют собой крупные ударные кратеры, сформировавшиеся в гарпагидский или ранний галагемидский период.

#### Смешанный палимисестовый материал

Палимисесты, не контактирующие со светлыми породами, что не позволяет определить их возраст. Содержит как молодые, так и древние впадины.

#### Материалы внутренних равнин палимисестов

Округлые участки гладкой поверхности в центре некоторых палимисестов. Сформированы в результате выталкивания лавинного яда из ядра во время стадии перестроения кратеров.

### ПРОЧИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Борозды  
Линейная или изогнутая впадина с приподнятыми краями, встречается в темных кратерированных породах. Образуется фрагментарные концентрические группы.

Рытвины  
Обычно представляются плотными наборами параллельных гряд и впадин, иногда — одиночными изогнутыми канавками. Находятся на светлых, сетчатых и темных линейных материалах.

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

Кратеры  
Кратеры с центральной горкой  
Круглосимметричные купола с плоской вершиной в центре крупных кратеров, часто окружены кольцевой впадиной.

Вторичные кратеры  
Группы равномерно мелких кратеров, окружающих выбросы от крупных свежих кратеров, молодых палимисестов и бассейна Галагем.

10





# 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

\*именованные кратеры и палимпсесты на картах масштаба 1 : 15 000 000 выделены белой обводкой; подписи областей, борозд и рытвин 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 темные материалы и прорезанные светлыми. Относятся к крупным ударным кратерам николсоновского периода.

p2

Молодой палимпсестовый материал

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

pu

Смешанный палимпсестовый материал

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

pi

Материалы внутренних равнин палимпсестов

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

### ПРОЧИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Борозды

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

Рытвины

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

▼

Впадины

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

○

Кратеры

⊕

Кратеры с центральной горкой

Крутостенные купола 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

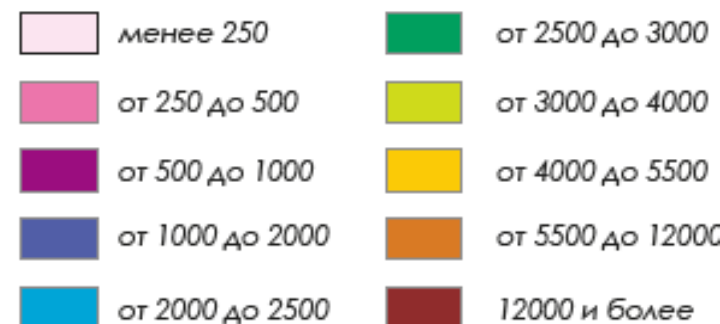


C 100 Y 100

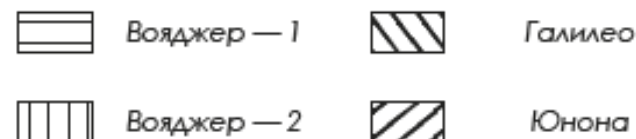
Y 100

M 100 Y 100

Разрешающая способность снимков  
(м/пикс)



Принадлежность снимков  
к космическим аппаратам



Вояджер-1 (США)



Вояджер-2 (США)



Юнона (США)



Галилео (США)



## Результаты исследования

- Обновлено 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».





**МИИГАиК**  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ



**Спасибо за внимание!**