

ПЕТРОЛОГИЯ, часть 2. Магматизм

Лекция 2. Кристаллизация многокомпонентных расплавов

Основы космической петрологии. Происхождение химических элементов, состав и эволюция Солнечной системы. Состав и строение комет. Состав и внутреннее строение планет солнечной системы и Луны.

каф.петрологии

Геологический факультет МГУ

2013

Формирование Солнечной системы

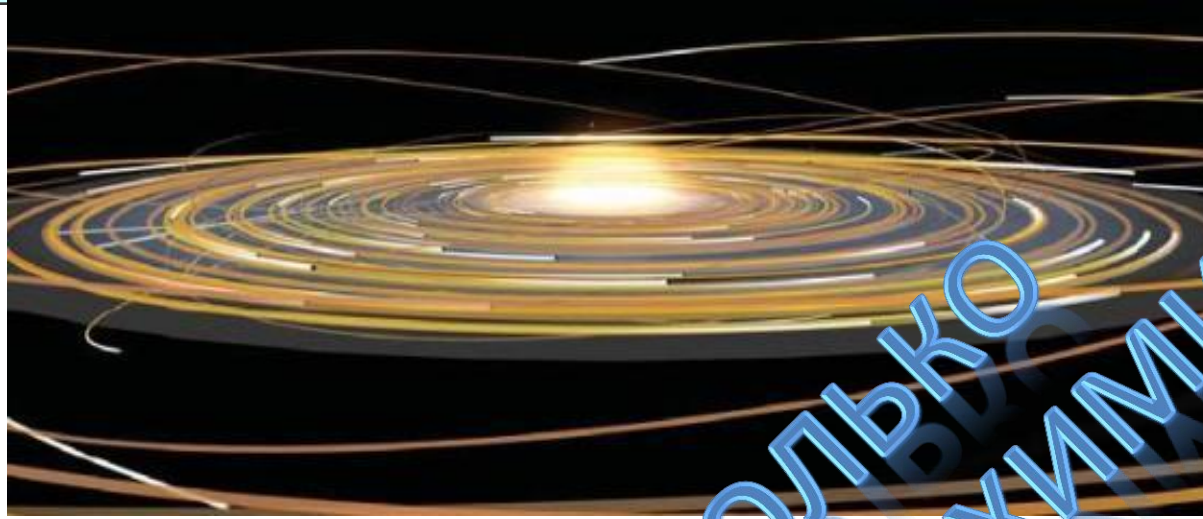


Примерно 5 млрд. лет назад сформировалась небула — вращающееся газопылевое облако



За счет гравитации и вращения частички стали скапливаться в центре, формируя Солнце и планеты

Формирование планет

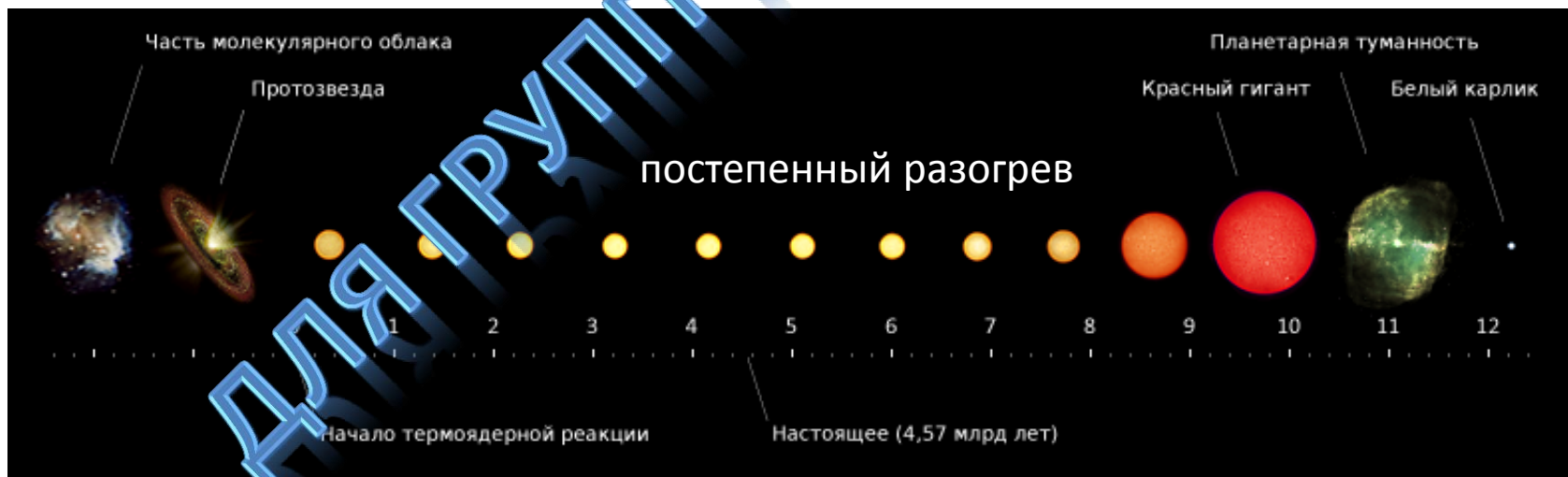
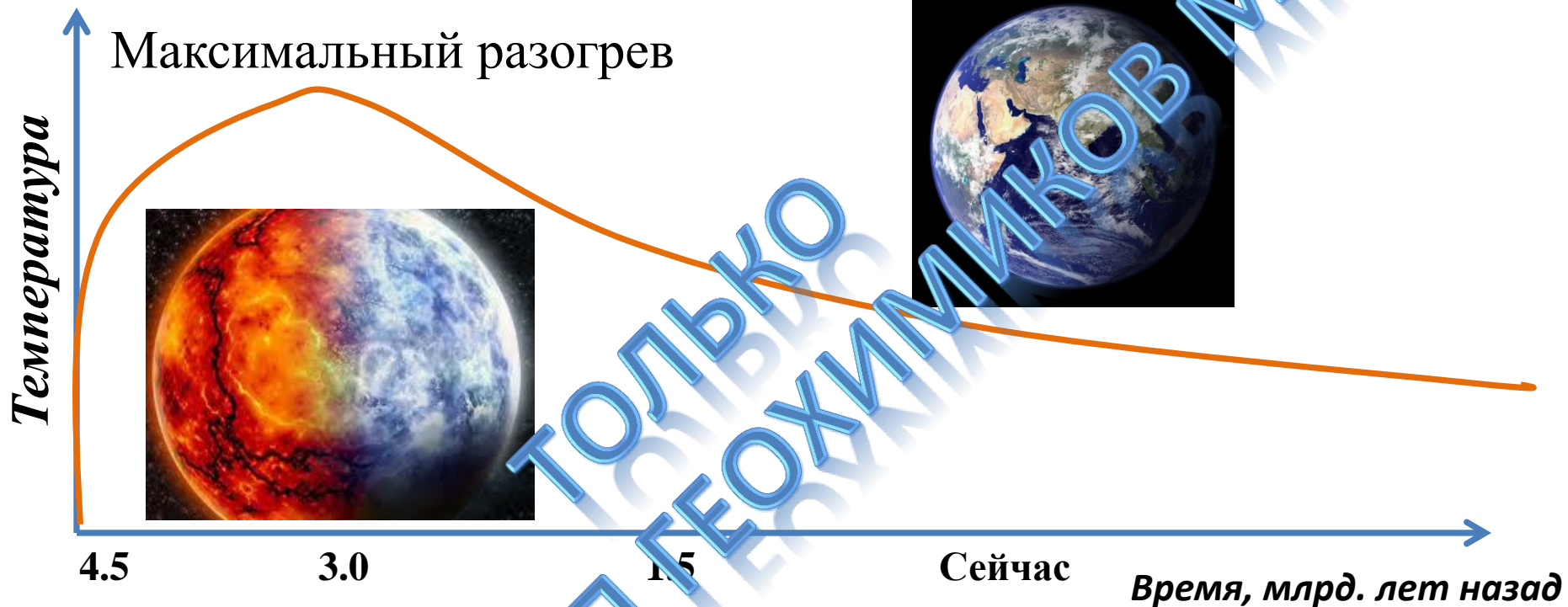


Сначала образовались Солнце и планеты-гиганты, затем планеты земной группы

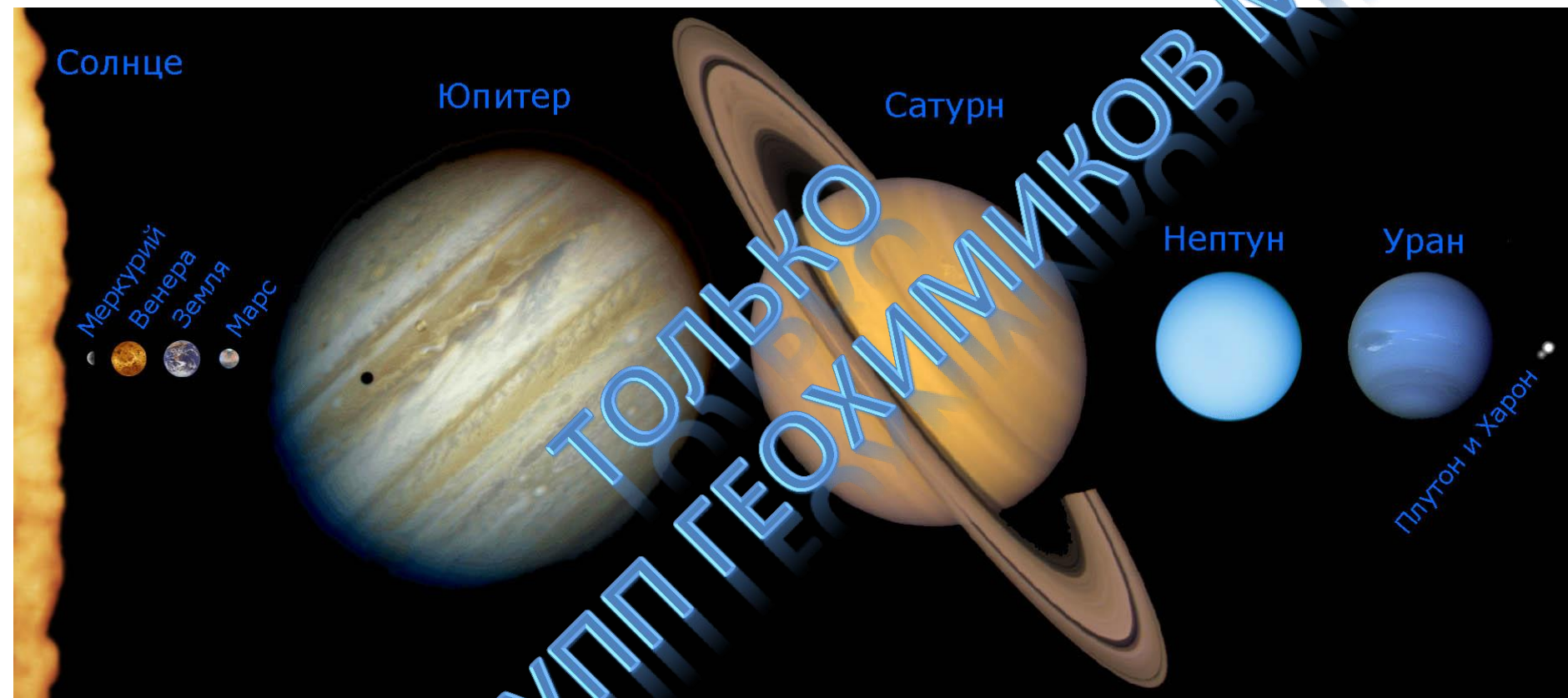


Формирование планет происходит за счет соударения крупных фрагментов и метеоритной бомбардировки. За счет энергии соударений и гравитационного перераспределения планета разогревается.

Нагрев и остывание небесных тел



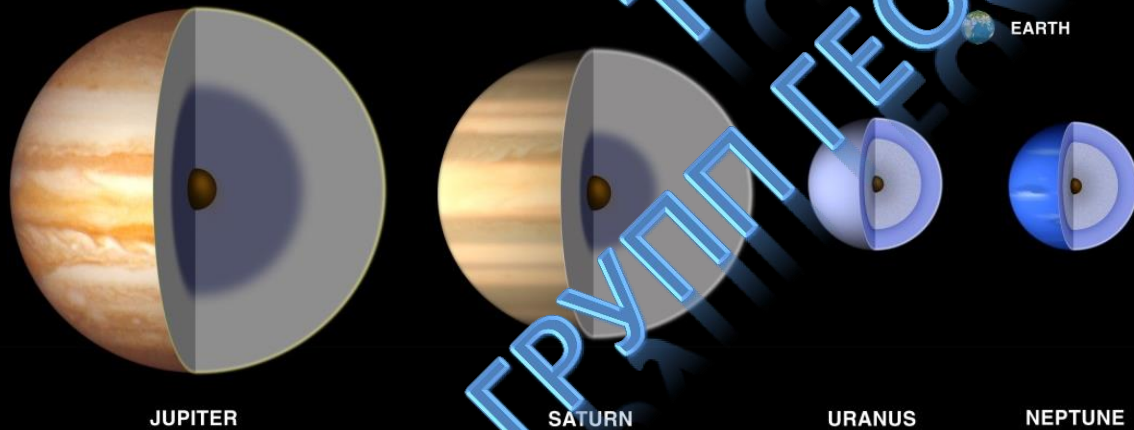
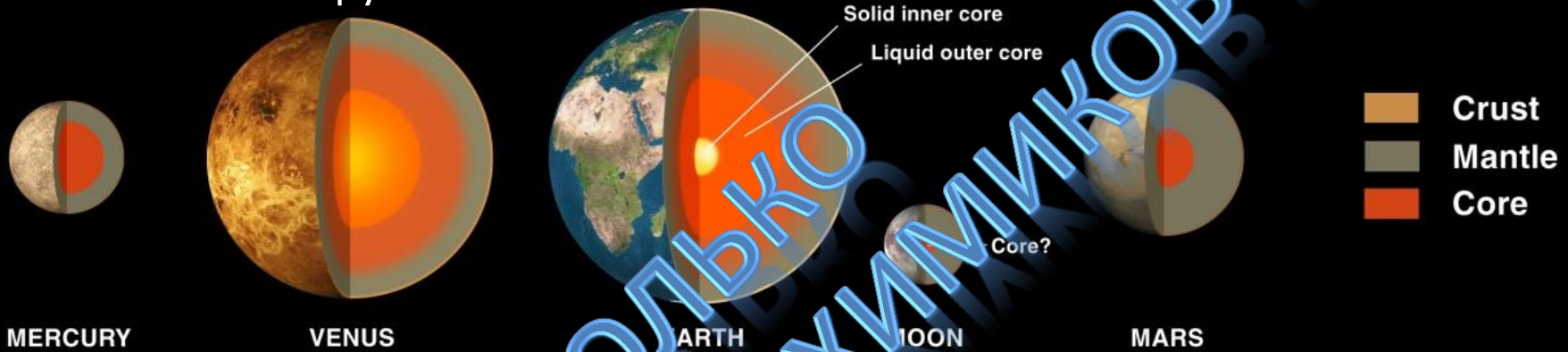
Планеты Солнечной системы



В Солнечной системе есть одна звезда, 8 планет, более 10 малых планет, астероиды, кометы, естественные и искусственные спутники планет.

Типы планет

Планеты земной группы



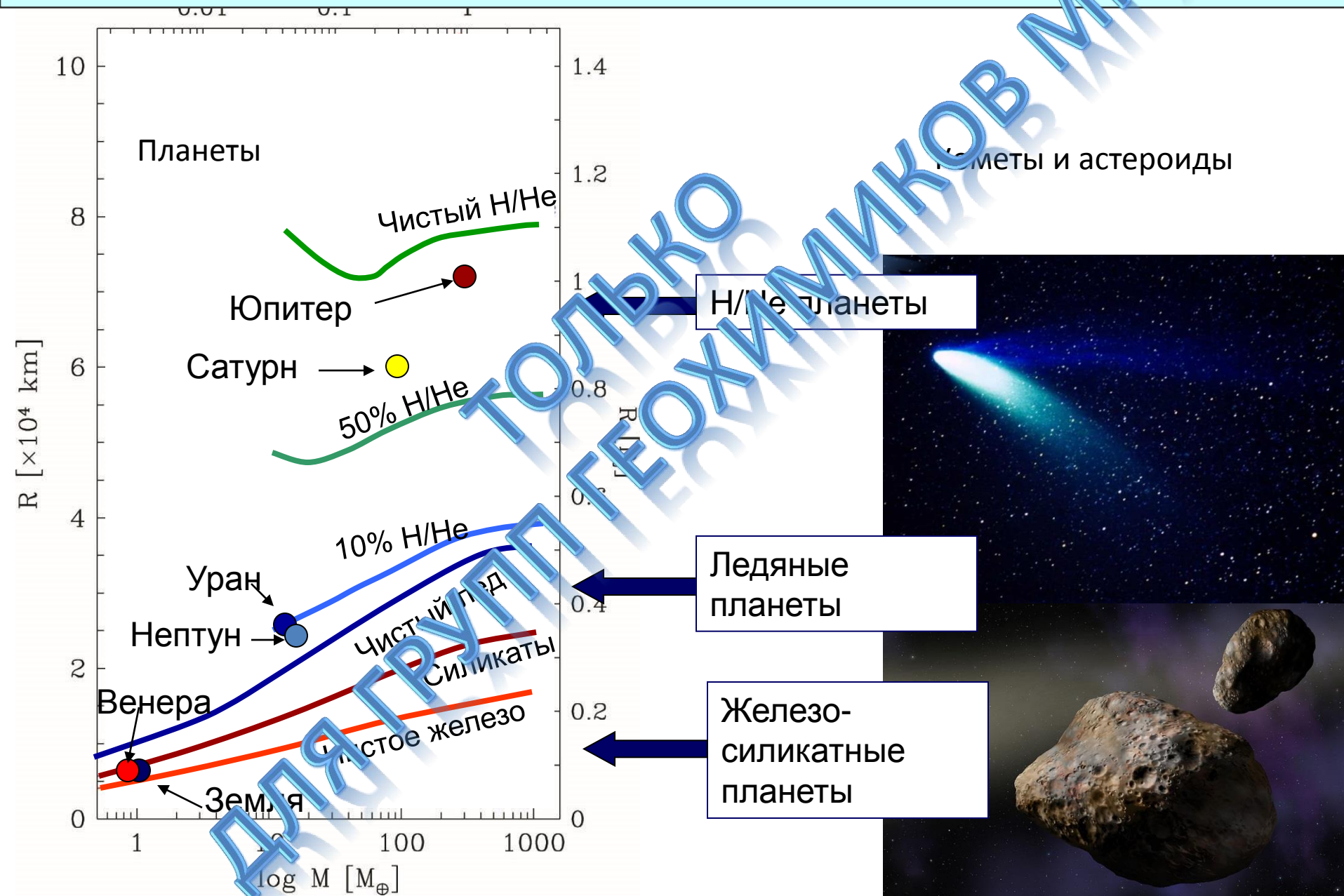
Планеты-гиганты



Средние плотности:

Меркурий – 5.43 г/см³
 Венера - 5.4 г/см³
 Земля – 5.5 г/см³
 Марс - 4.0 г/см³
 Юпитер – 1.24 г/см³
 Сатурн – 0.62 г/см³
 Уран – 1.25 г/см³
 Нептун – 1.6 г/см³

Типы планет и малых тел



Поверхность Луны покрыта темными пятнами – "лунными морями"



Видимая сторона Луны

Обратная сторона Луны

Лунные моря занимают 32% видимой стороны и только 2 % обратной стороны

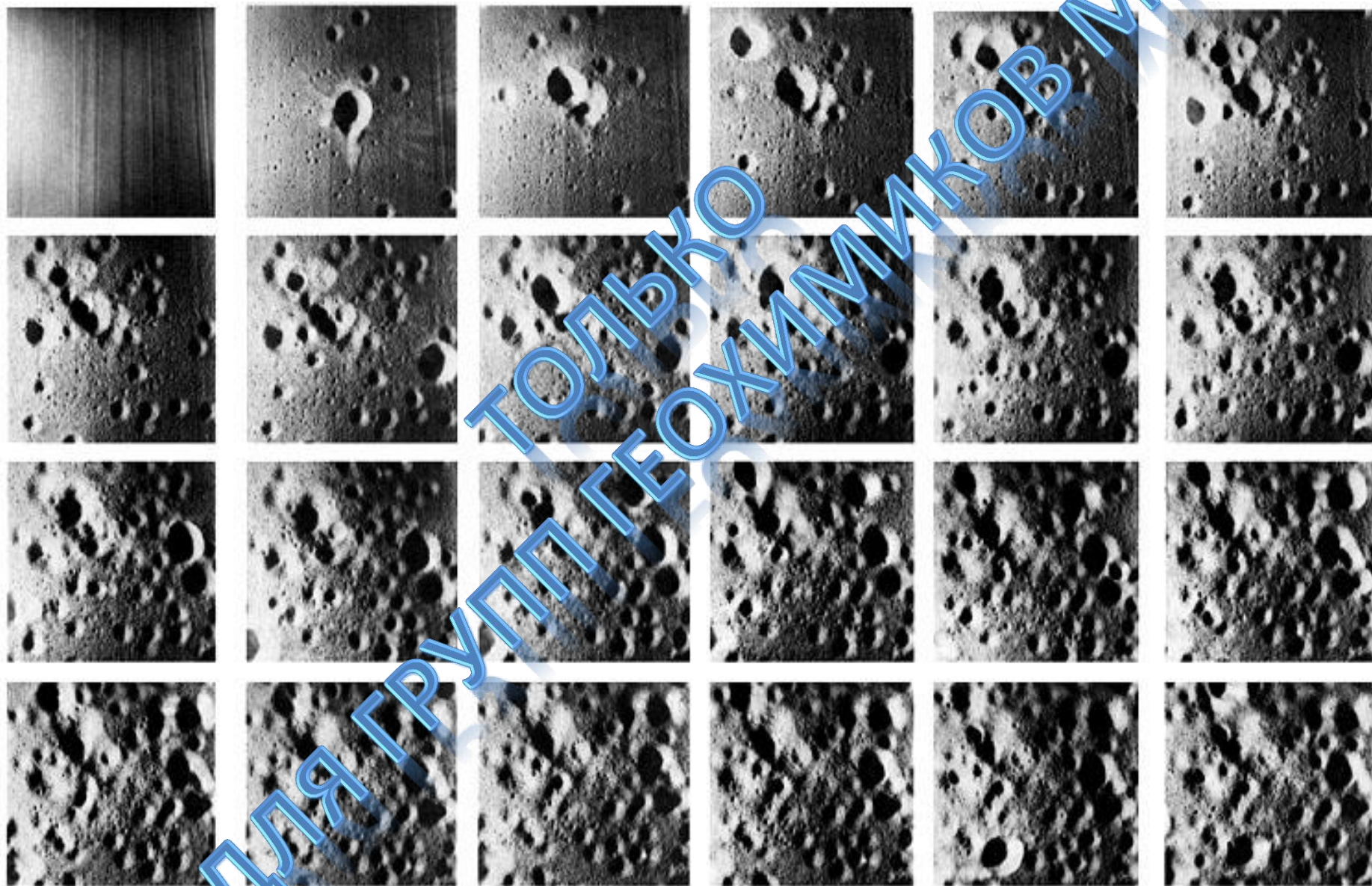
Лунные моря сложены лунными базальтами – «эвкритами»

Лунные материковы (светлые зоны) сложены лунными анортозитами

Определение возраста вулканизма по густоте метеоритных кратеров



Определение возраста вулканизма по густоте метеоритных кратеров



Определение возраста вулканизма по густоте метеоритных кратеров

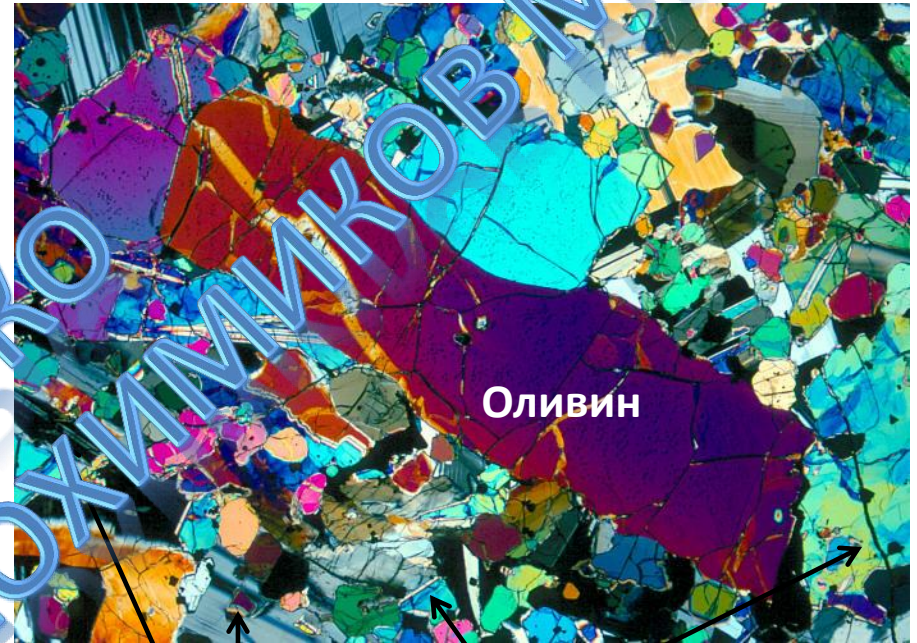
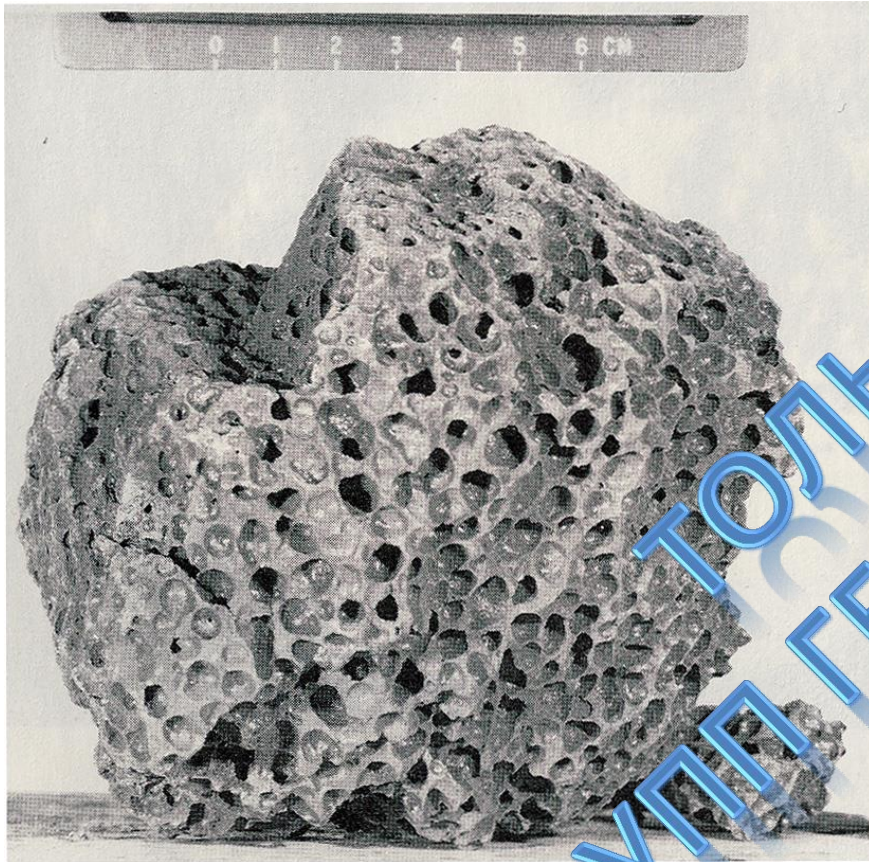


Молодые поверхности

Старые поверхности

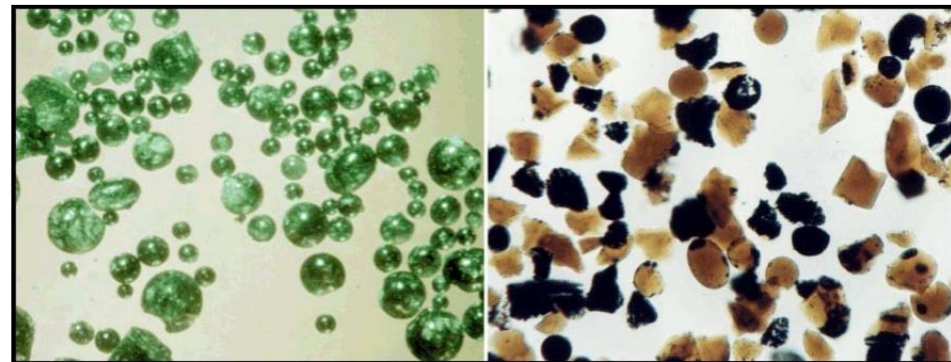
Для лунных пород доставленных на Землю определен абсолютный возраст (3.1-4.5 млрд. лет), что позволяет количественно использовать метод определения возраста по густоте ударных кратеров.

Лунные базальты (породы морей)



Плагиоклаз

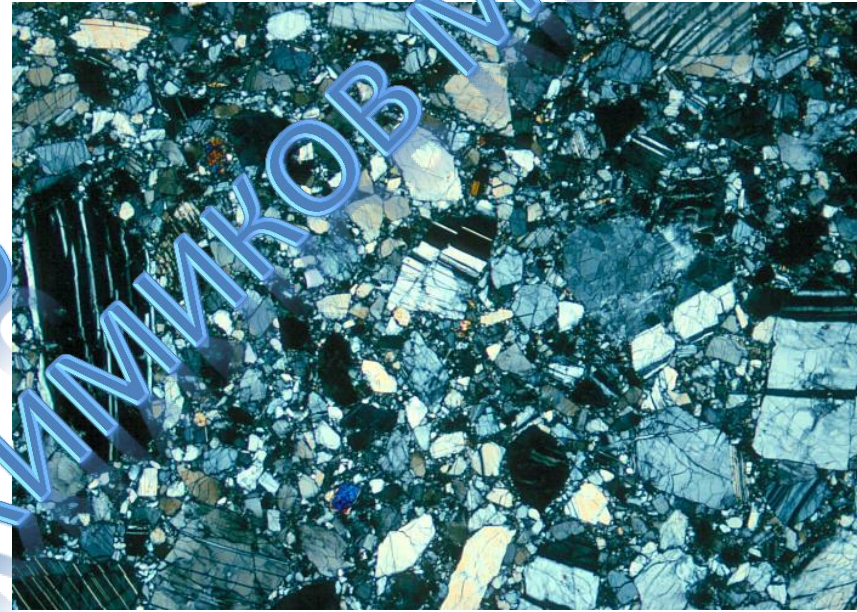
Пироксены



Реголит – лунная почва

Лунные базальты отличаются от земных. Считается, что на Земле такие породы были в самом начале, но не сохранились

Лунные анортозиты (породы материков)



Плагиоклаз

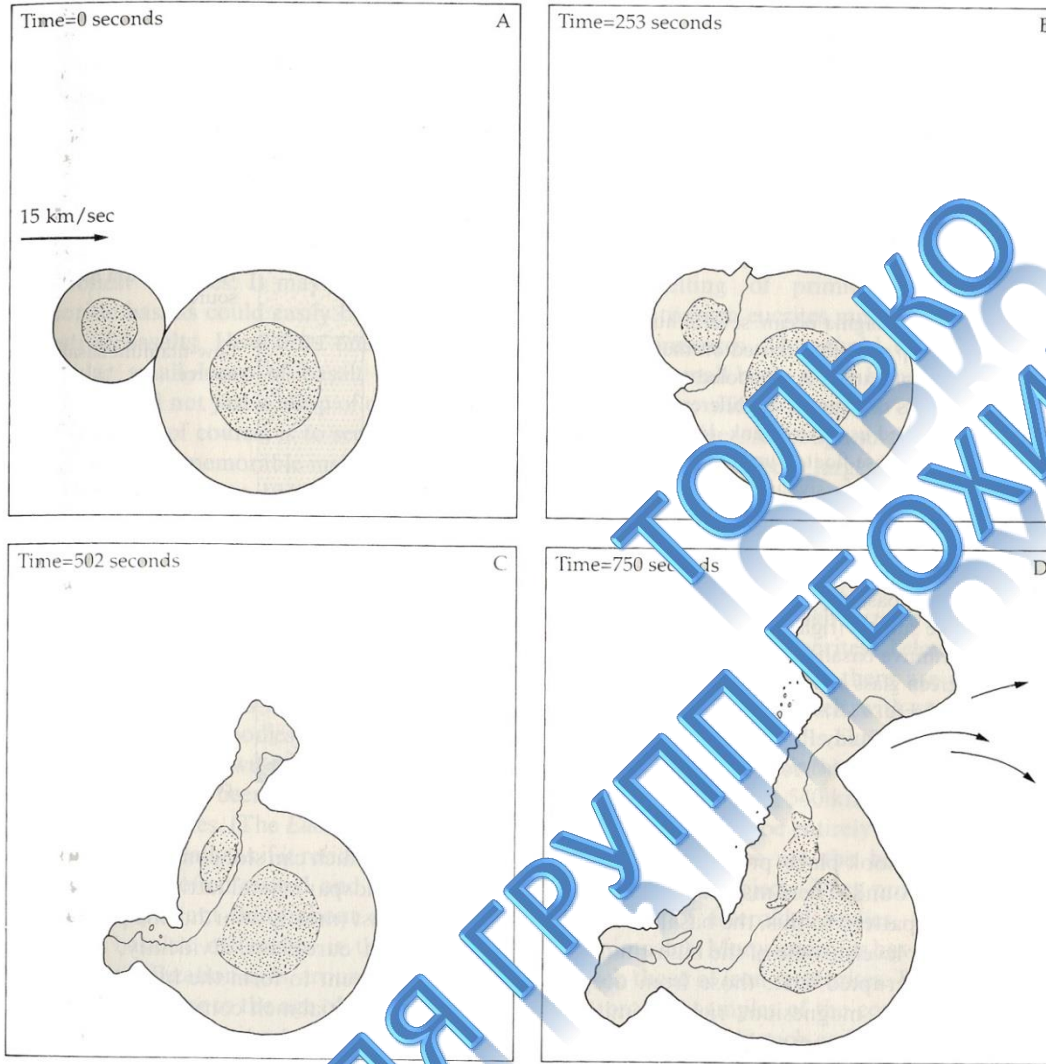
Луна сформировалась около 4.55 млрд. лет назад. Возраст всех лунных анортозитов больше 4.3 млрд. лет. Лунные моря формировались 4.5-3.5 млрд. лет назад. Последнее крупное извержение лунных базальтов произошло около 1 млрд. лет назад.

Образцы были доставлены американскими (Apollo) и советскими (Луна) аппаратами

Специфика лунных базальтов

- Подавляющее большинство лунных базальтов имеет возраст от 3.95 до 3.15 млрд лет.
- Лунные моря сходны с большими магматическими провинциями и океаническими плато на Земле.
- Несколько разных составов (KREEP, высокотитанистые, низкотитанистые), которые отражают разные источники, образовавшиеся после магматических событий 4-4.5 млрд лет.
- Выраженная положительная Eu-аномалия в анортозитах сочетается с отрицательной Eu-аномалией базальтов.
- Более молодые базальты являются более примитивными и отражают более глубокий источник. Возможно, это связано с разогревом Луны в период от 4 до 3.5 млрд лет назад.

Происхождение Луны



Импактная модель:

$$\rho_{\text{Moon}} = 3.5 \text{ г/см}^3 \ll \rho_{\text{Earth}} = 5.5 \text{ г/см}^3$$

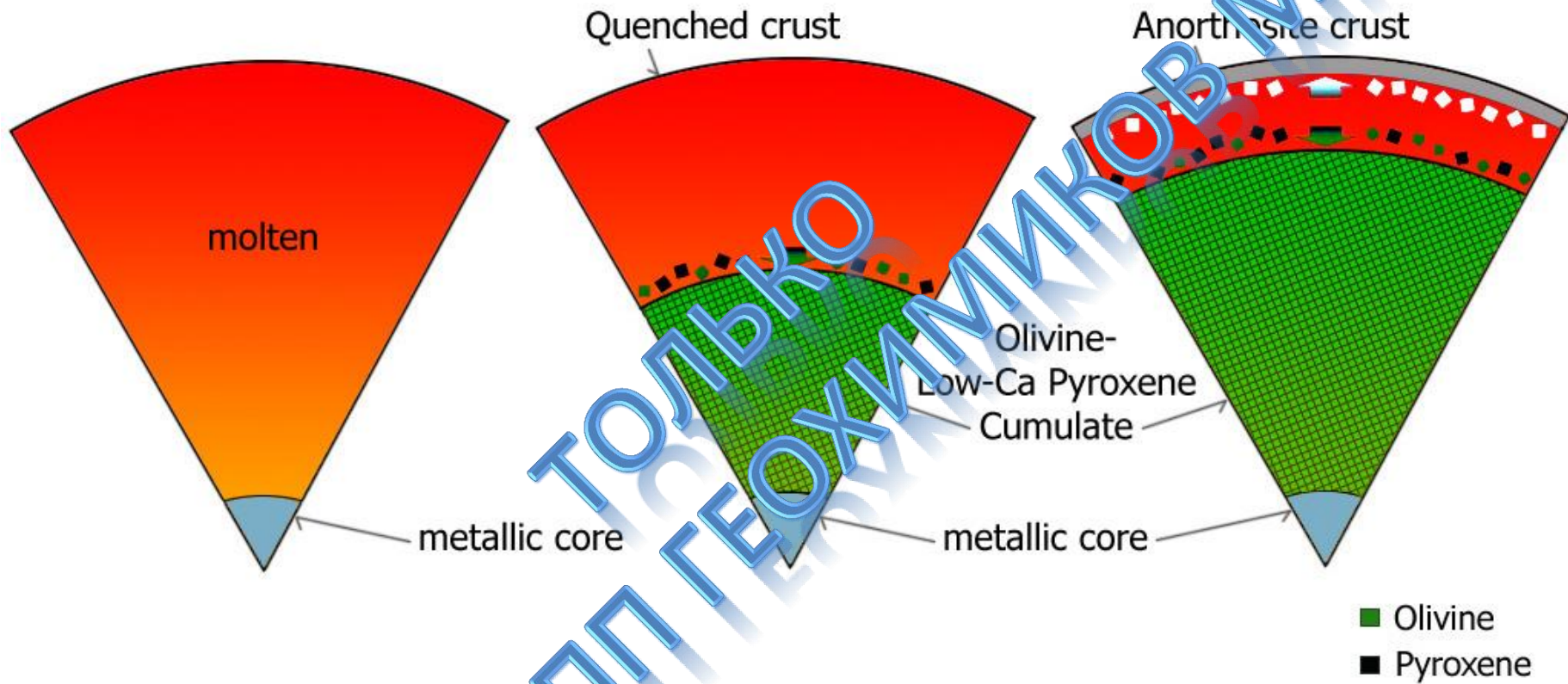
На Луне почти нет железного ядра

Луна и Земля имеют
одинаковые $\delta^{18}\text{O}$

Образование Луны должно было
произойти раньше, чем 4.4
млрд.лет назад (возраст
анортозитов)

Луна обеднена летучими
компонентами

Эволюция магматизма Луны



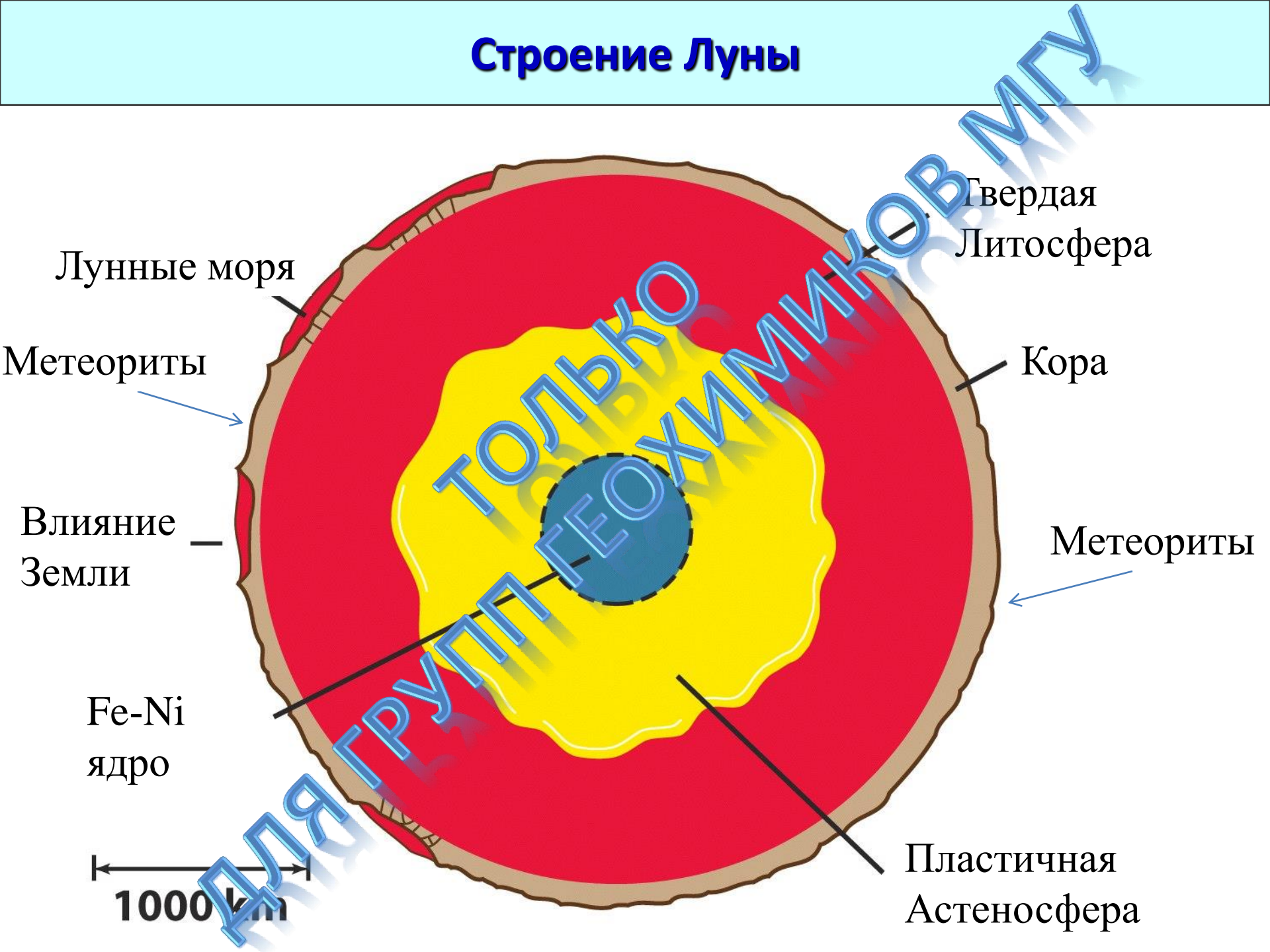
Магматический океан

Кумуляция

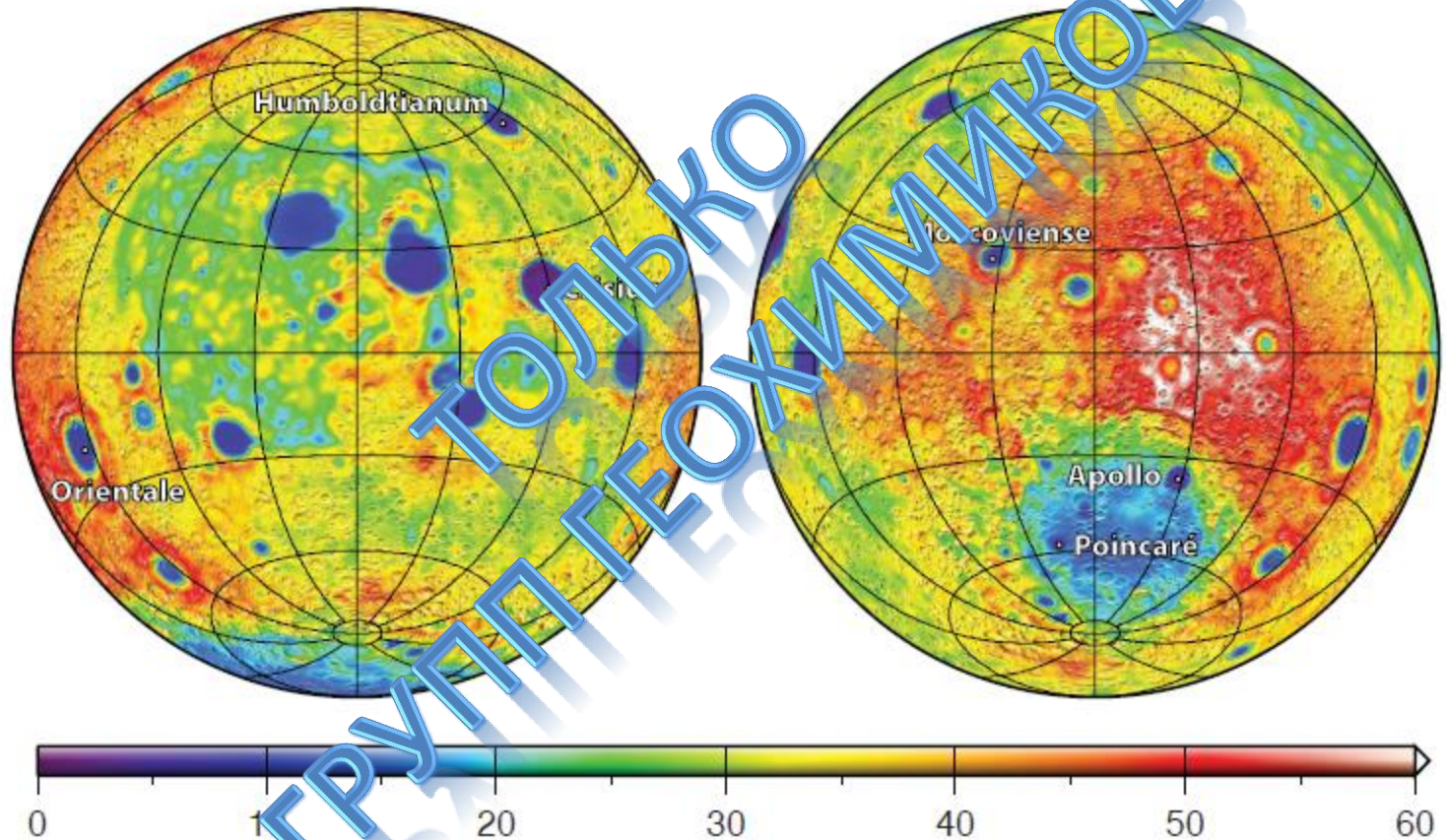
Формирование
анортозитов и
остаточного KREEP
источника

ТОЛЬКО
ГРУПП
ГЕОХИМИКОВ
ВМГУ
ДЛЯ

Строение Луны



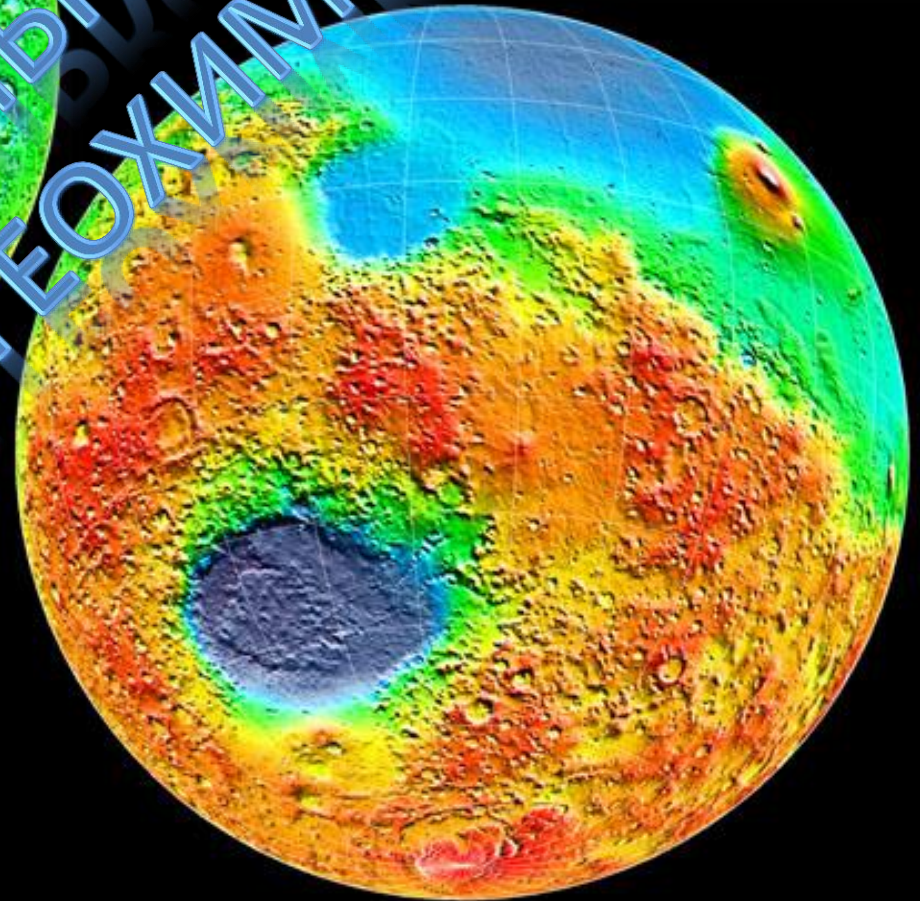
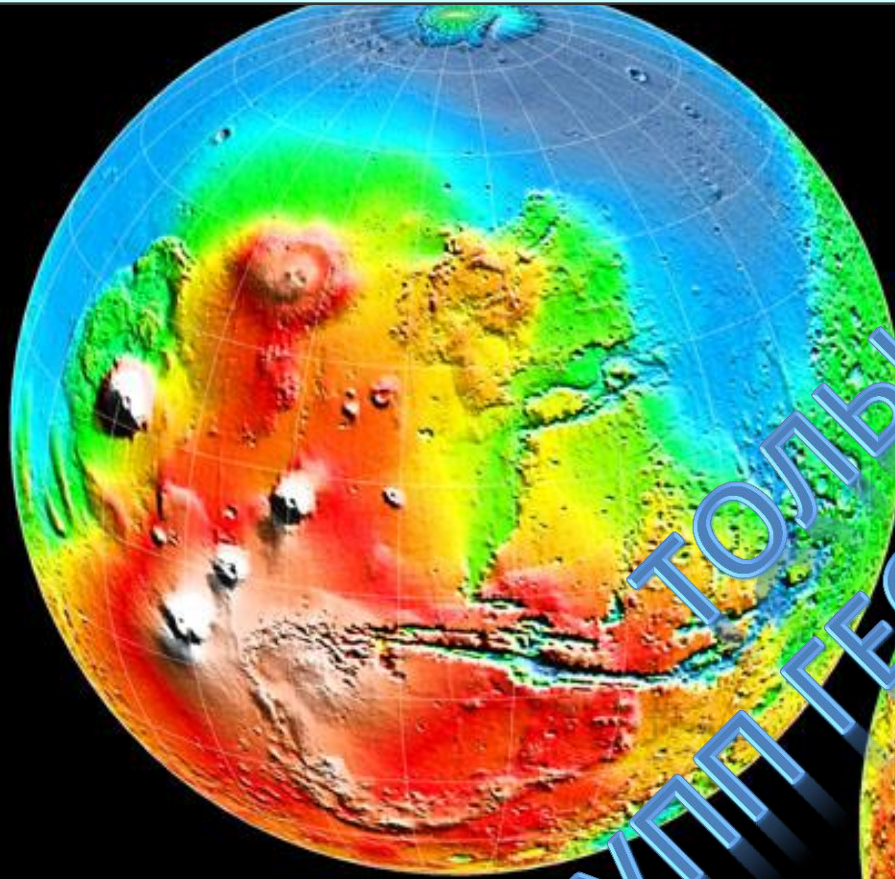
Строение Луны



Мощность коры, км

Материки и моря на Марсе

Низменности на севере
возвышенности на юге
Поднятие Фарсилы - наклонные
равнины, гигантские вулканы
бассейны: Элизия (D = 2000 км),
Аргир (900 км)



NASA MGS MOLA

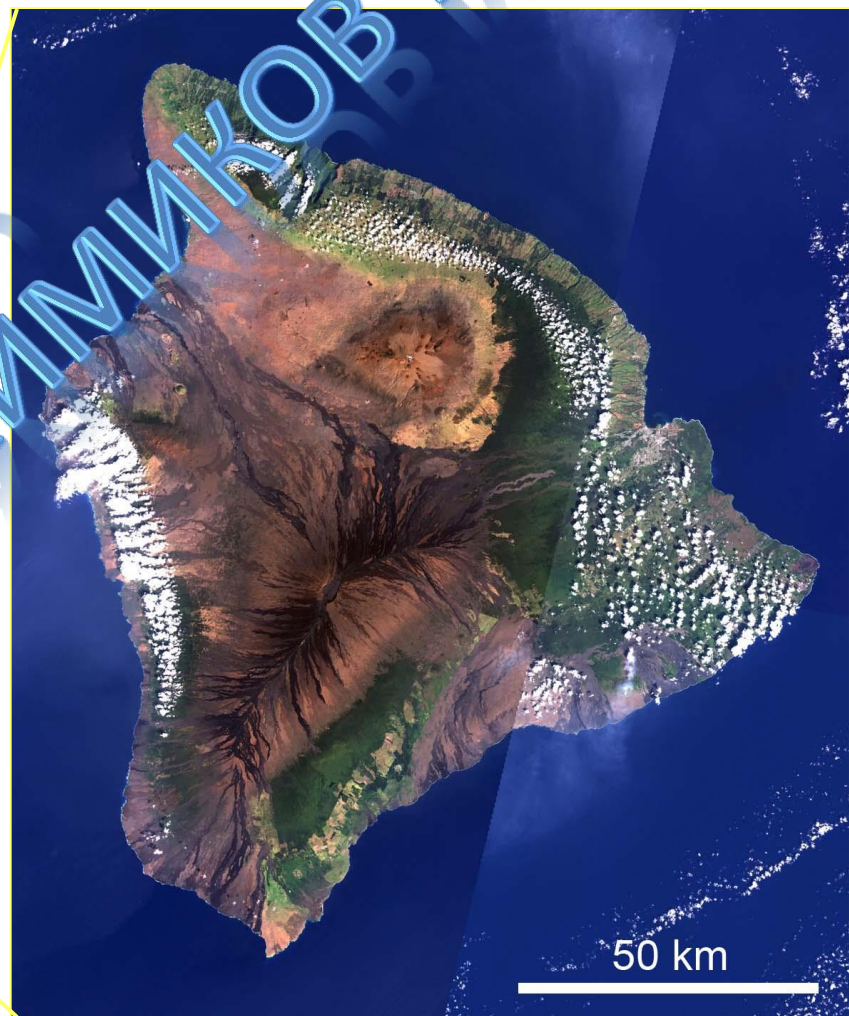
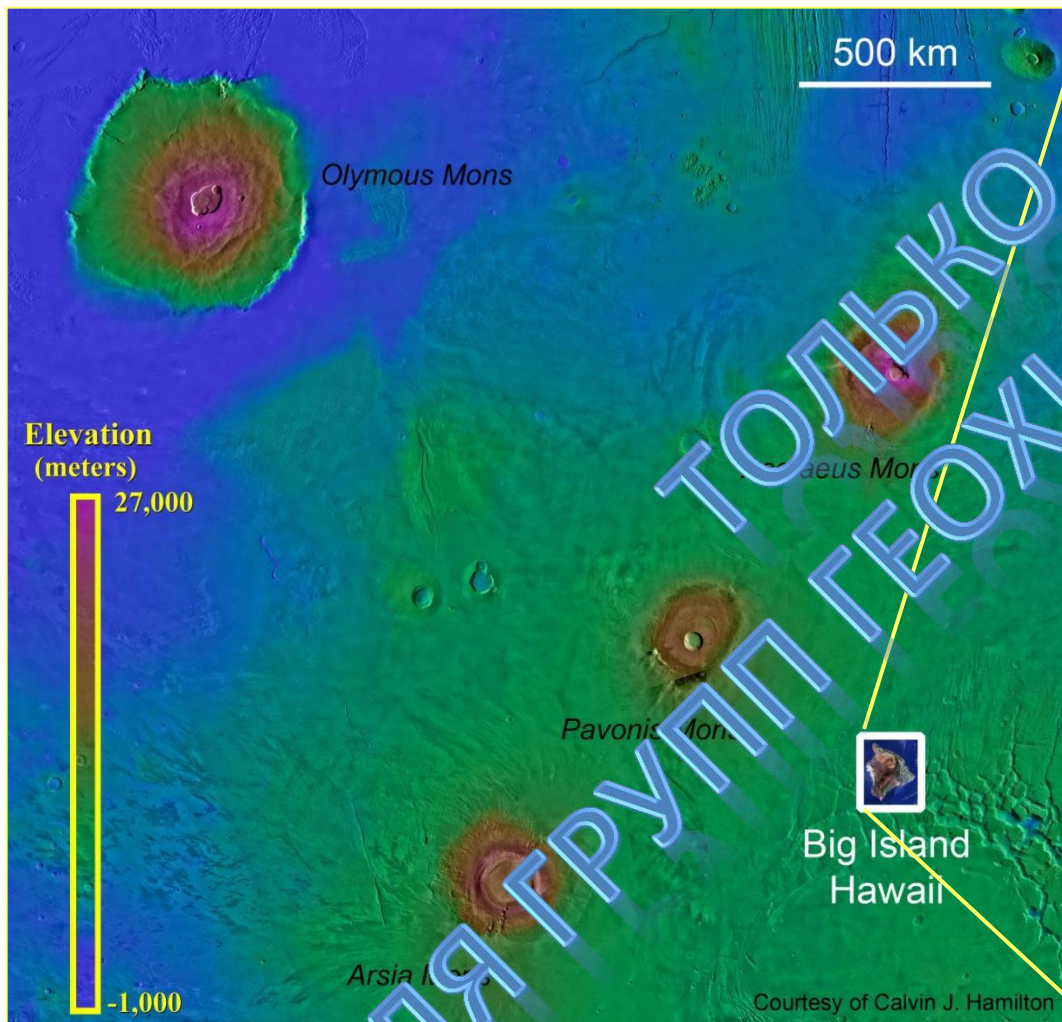


Снимок поверхности Марса с орбиты

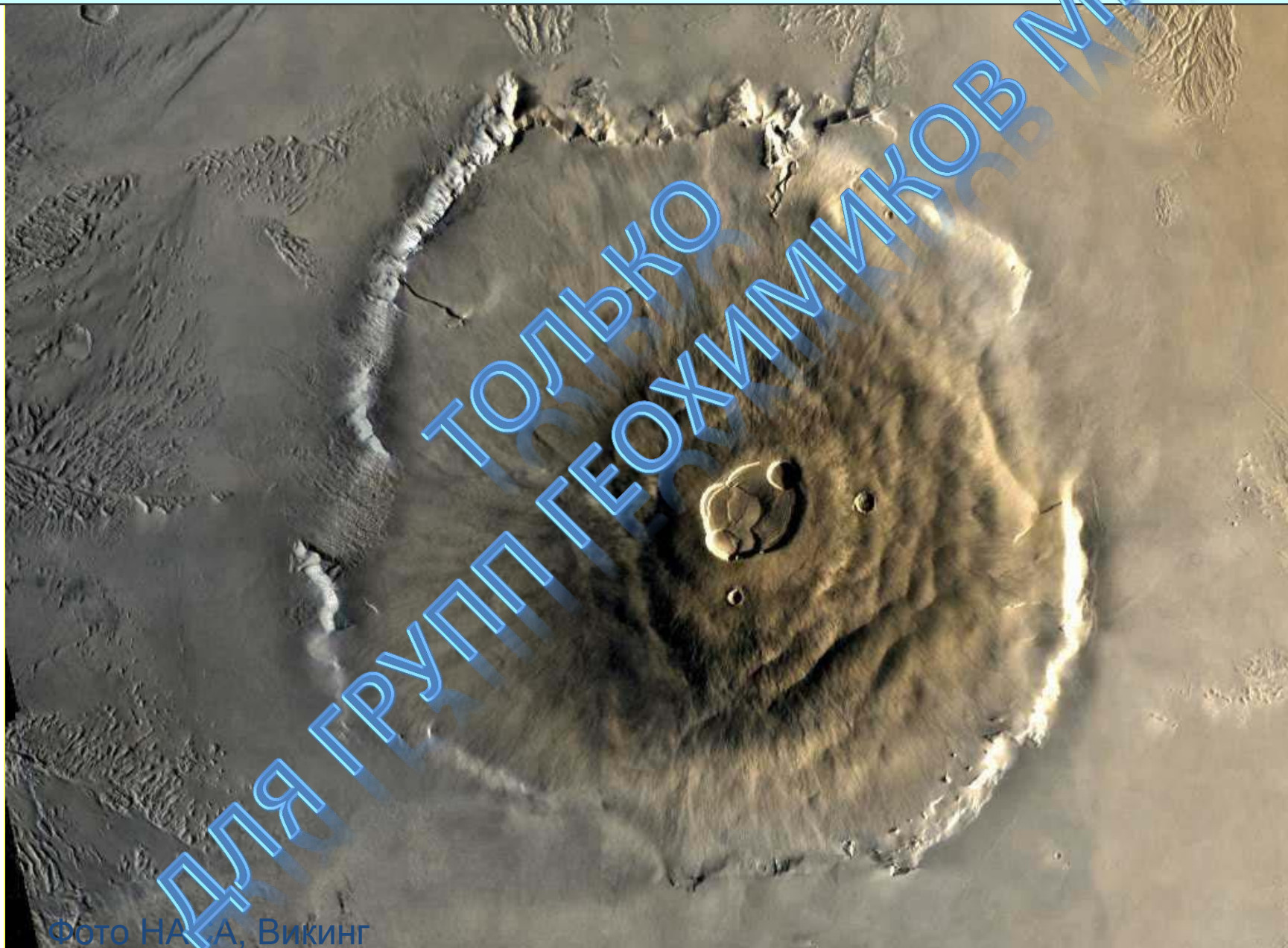


Тільки
для груп
ГЕОХІМІКОВ МГУ

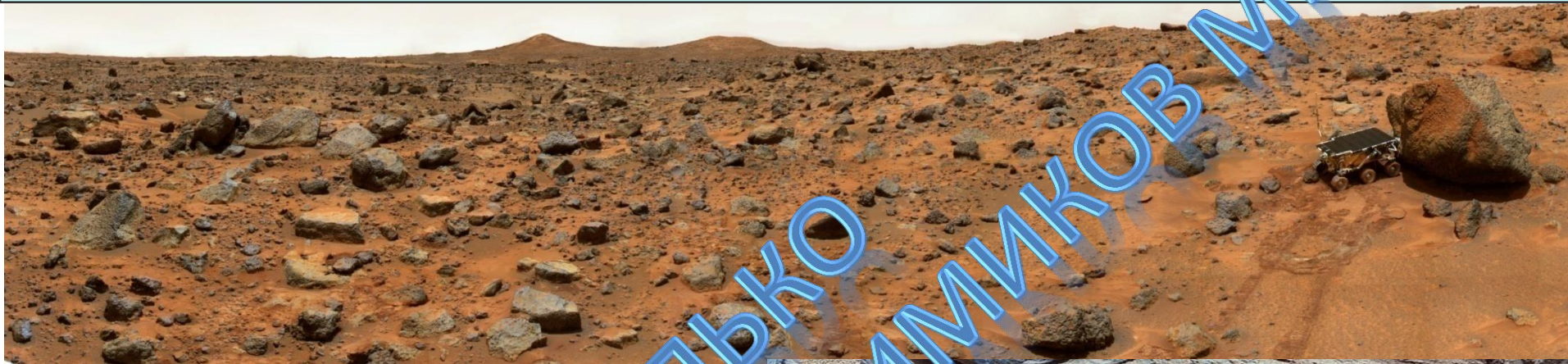
Сравнение вулканов Фарсиды с Большим островом Гавайского архипелага



Гора Олимп, 600 км в диаметре, высота 21 км



Снимки поверхности Марса – обломки лавы



Curiosity продолжает изучение пород

Для группы только геохимиков МГУ

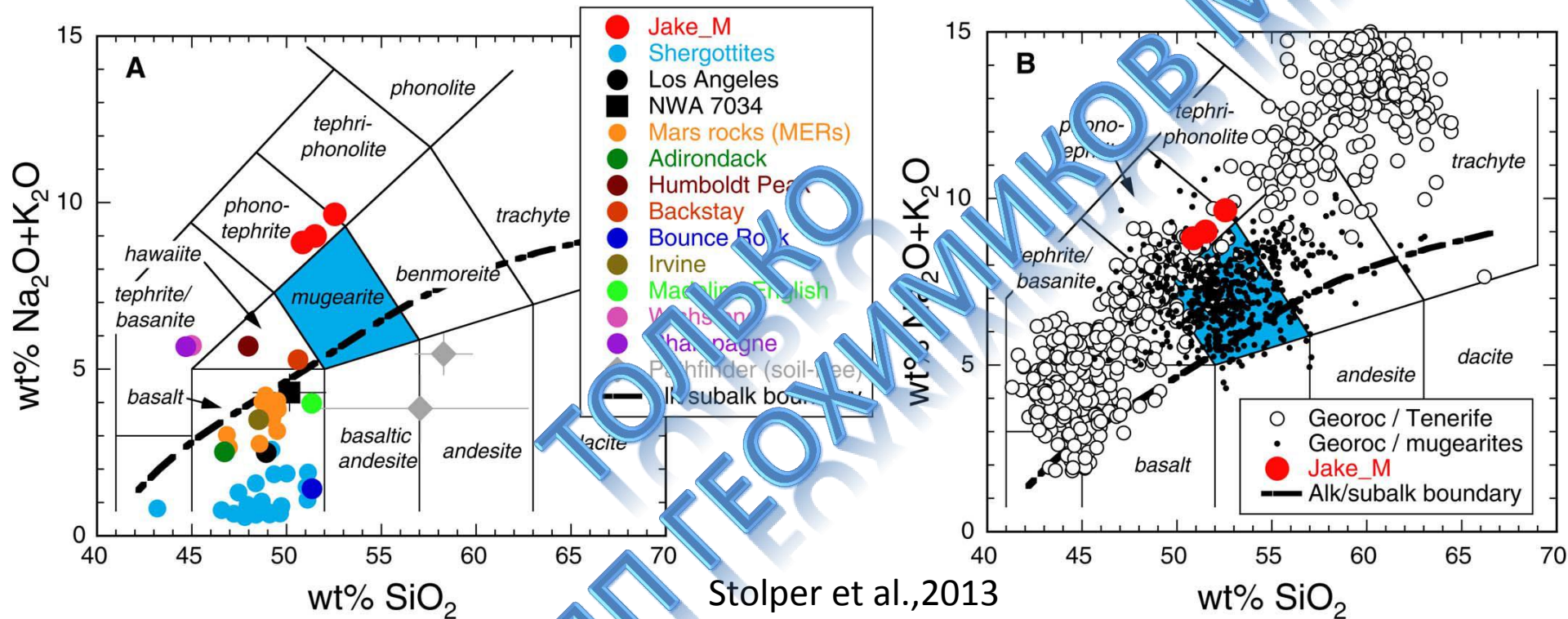
Химические анализы образцов на Марсе

Образец	Грунт			Породы		JM
	A-2	A-4	A-5	A-3	A-7	
SiO ₂	46.1	43.3	43.8	55.0	50.9	51.6
Al ₂ O ₃	8.0	10.4	12.1	12.4	11.4	15.7
FeO	19.5	14.5	17.5	12.7	13.8	10.8
MgO	8.7	9.0	8.6	3.1	6.3	4.6
CaO	6.3	1.8	5.3	4.6	5.8	6.7
Na ₂ O						7.0
K ₂ O						2.12
MnO						0.18
TiO ₂						0.65
SO ₃						2.8



Только для группы геохимиков ВМГУ

Сравнение вулканических пород Марса и Земли



Марсианские вулканические породы больше всего похожи на вулканические породы океанических островов Земли (Гавайи, Канары, Азоры), которые представляют собой «горячие точки»

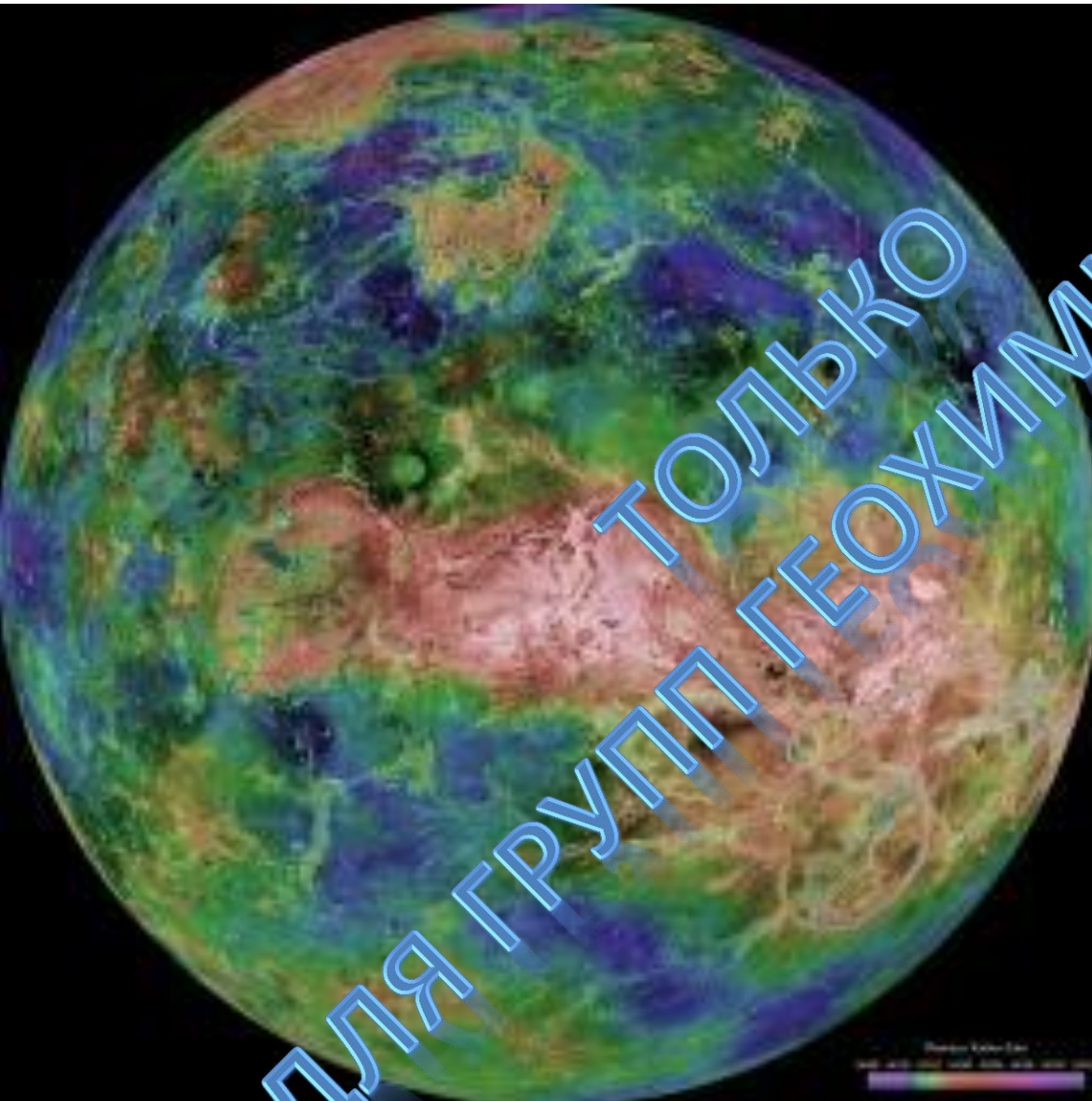
Венера – горячая и таинственная

Очень плотный облачный слой
Близко к солнцу – много помех
Температура поверхности 450 С

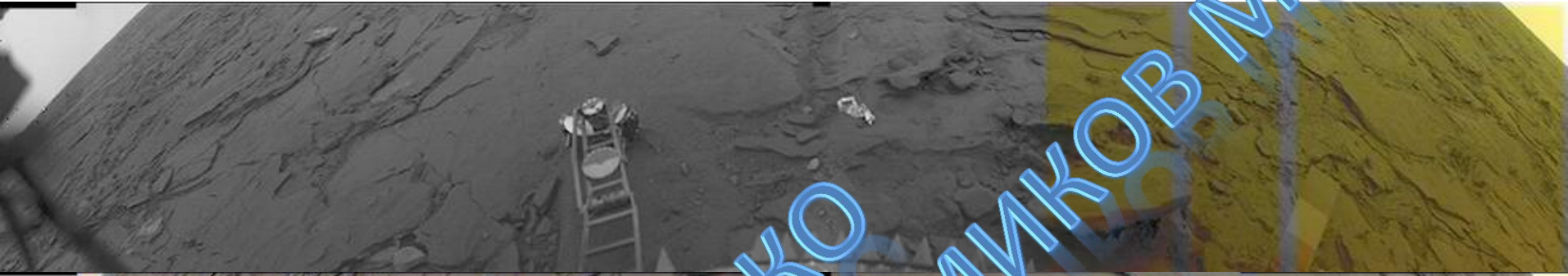


Успешные посадки получились
только у советских аппаратов
Венера. Через 45-60 минут связь
обрывалась....

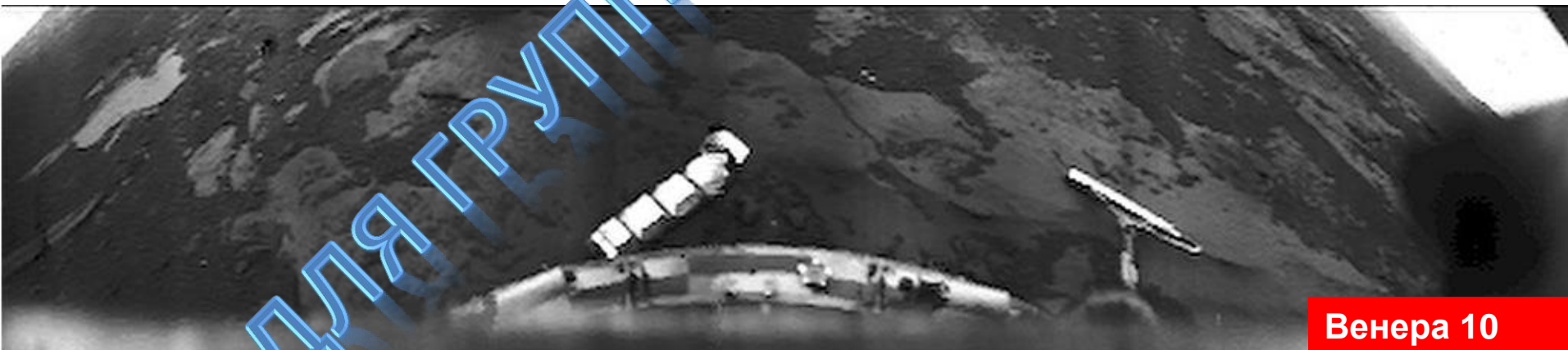
Для группы Геохимиков ВМГУ



Поверхность Венеры



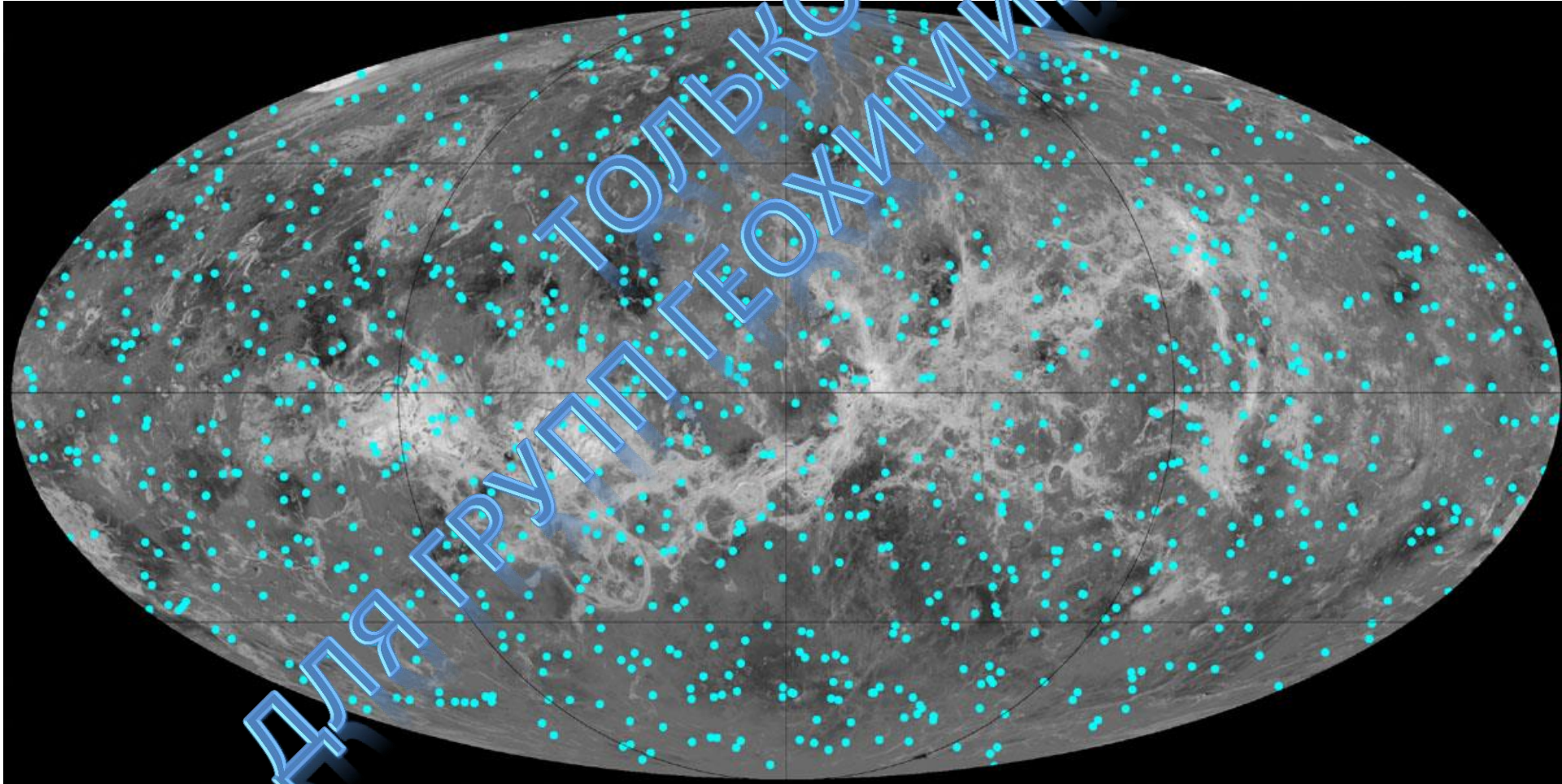
Венера 14



Венера 10

Возраст поверхности Венеры

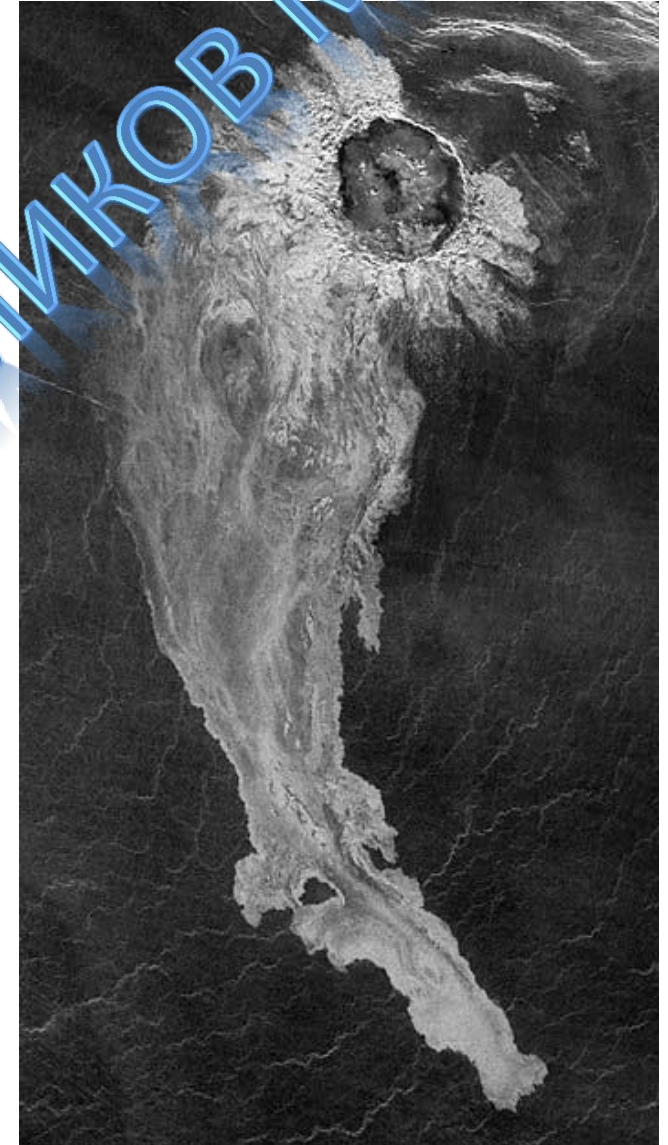
Распределение метеоритных кратеров по поверхности Венеры практически равномерное. Возможно, некоторые равнины чуть старше. Возраст поверхности Венеры 700-800 млн. лет (молодой).



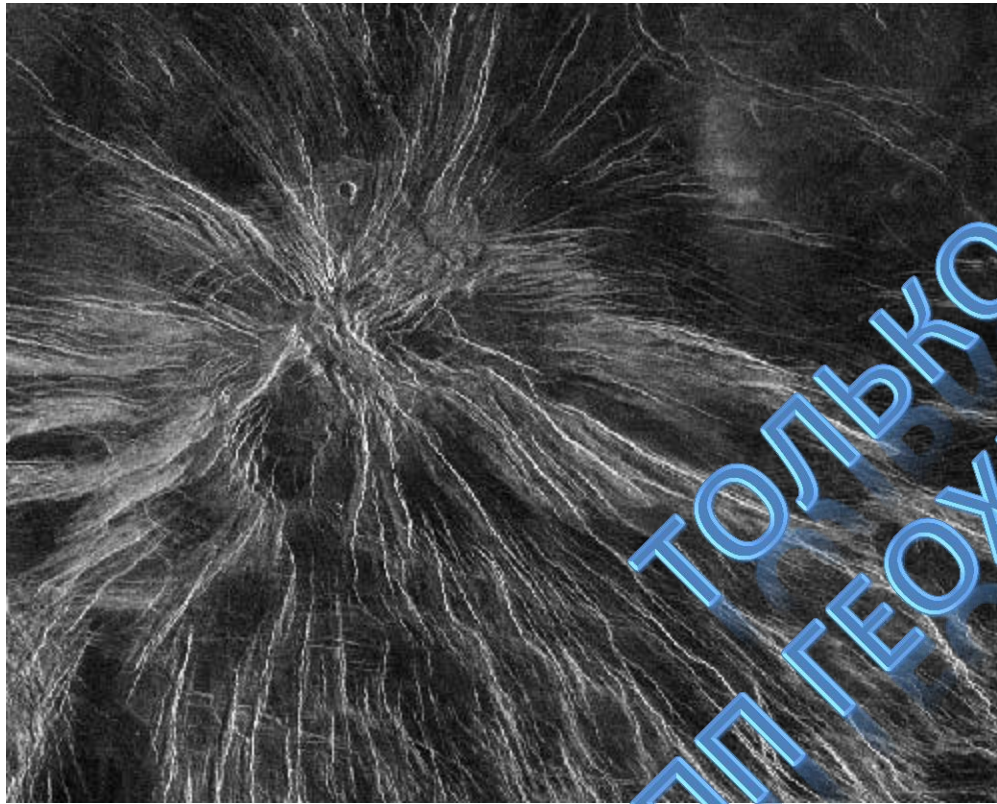
Вулканические формы Венеры



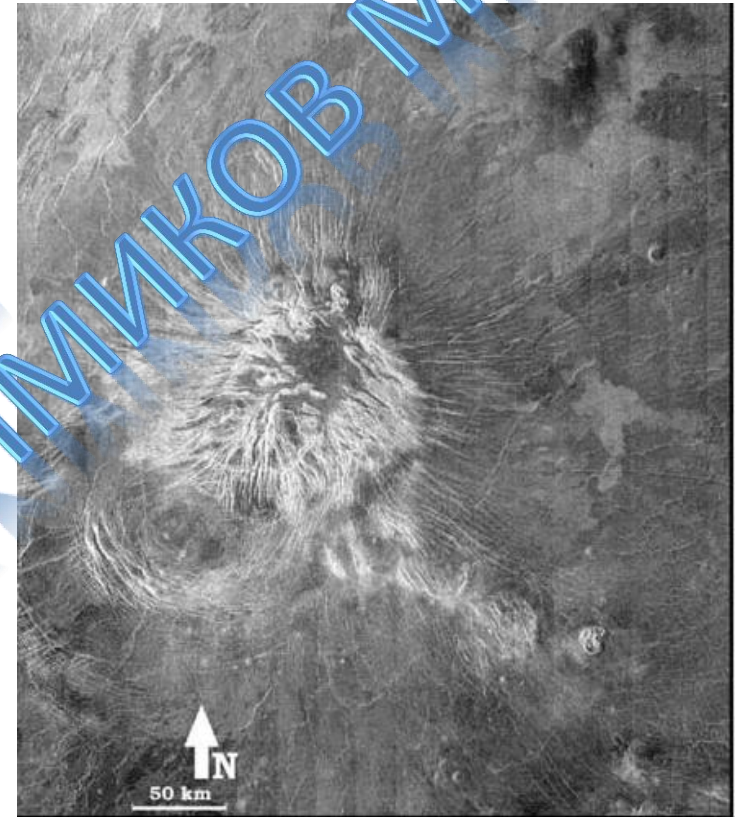
Короны – крупные поднятия, обрамленные трещинами. Диаметр корон может быть сотни километров, высота – первые километры.
Купола-пиромы – крупные лавовые формы, шириной в десятки километров.



Вулканические формы Венеры



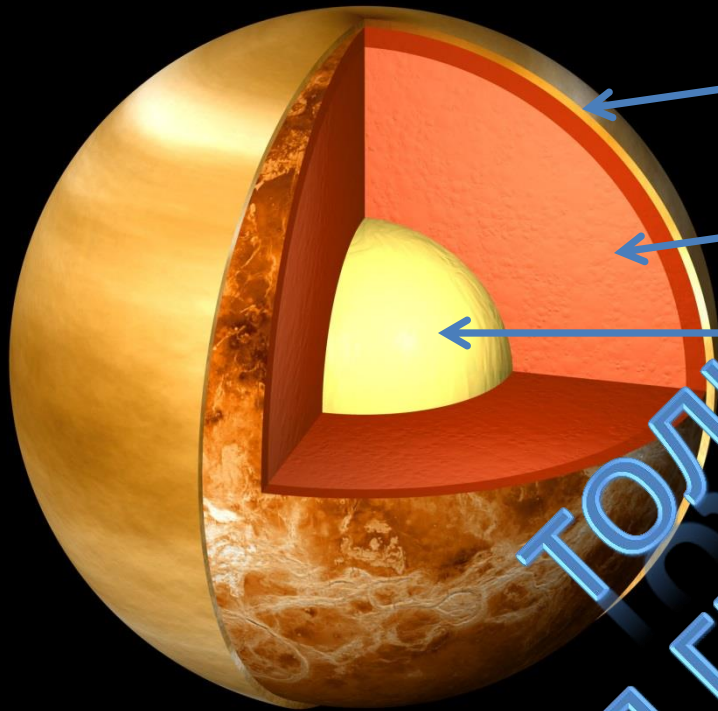
Арахноиды – крупные понижения с сетью радиальных трещин. Диаметр – сотни километров. Глубина – до 1 км.



Новы – крупные повышения с сетью радиальных трещин. Диаметр – сотни километров. Глубина – до 1 км.

ТОЛЬКО
ДЛЯ ГРУПП
ГЕОХИМИКОВ МГУ

Предполагаемое внутреннее строение Венеры



Очень тонкая кора

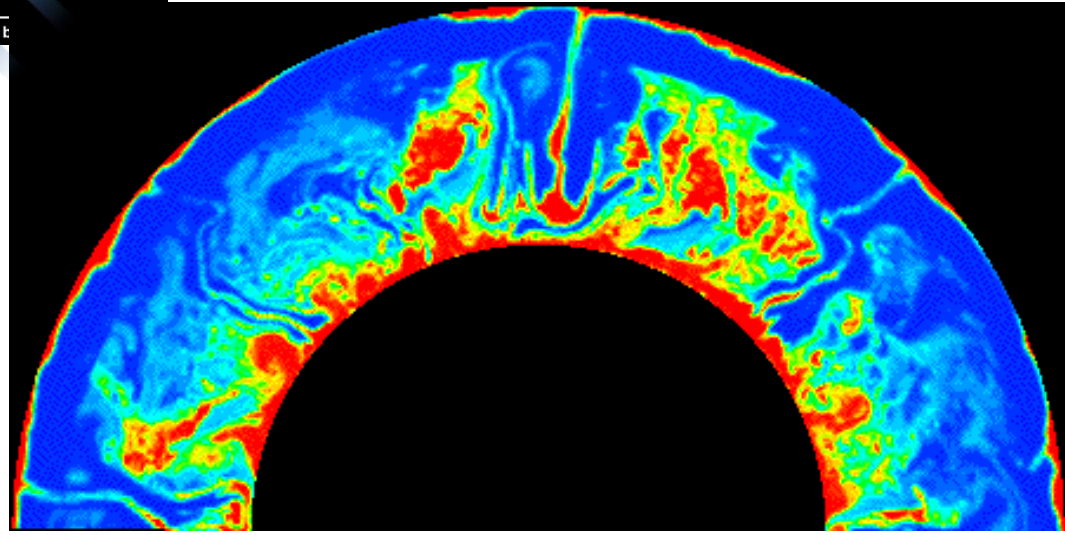
Мантия

Полностью жидкое ядро

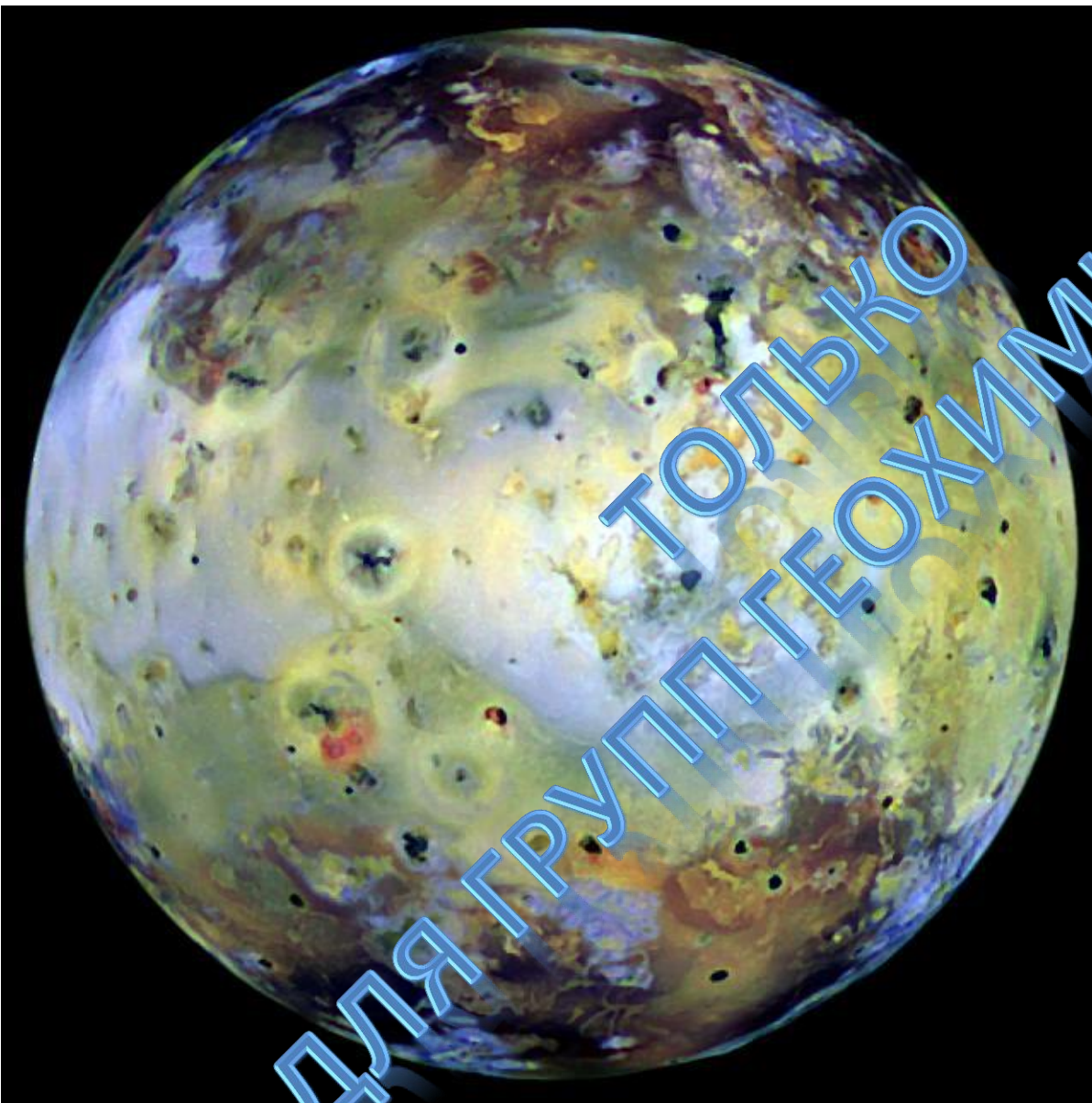
The Interior of Venus

© Copyright 2000 E

Кора тонкая, она отражает восходящие и нисходящие потоки в бурлящей мантии Венеры.



Вулканизм Ио (спутник Юпитера)

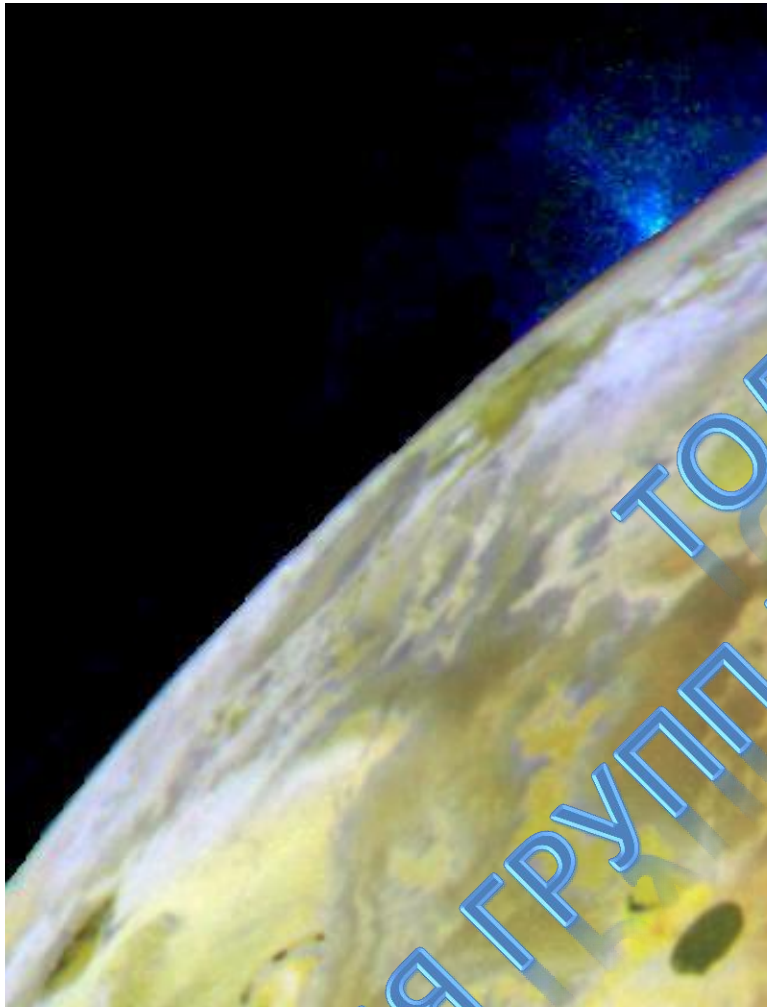


Радиус – 1815 км, третий по величине спутник Юпитера.

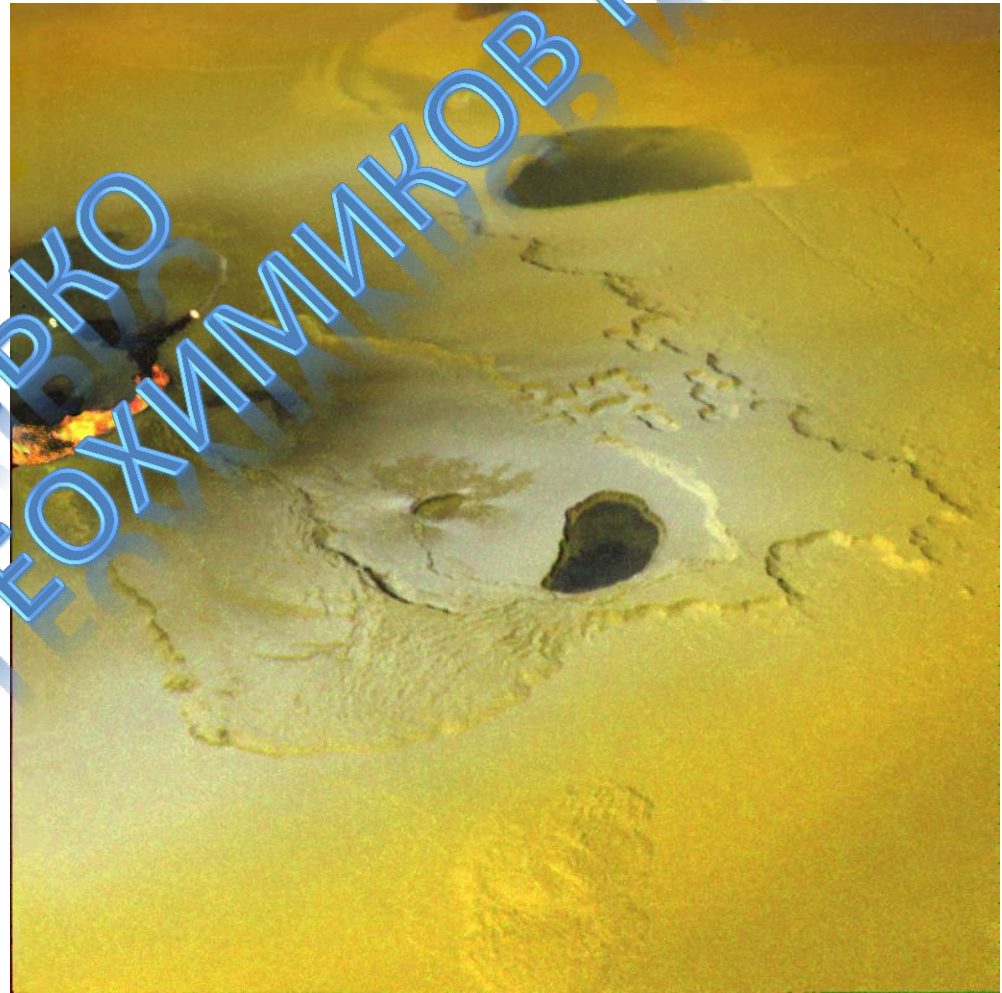
Чуть крупнее Луны.

Ближе всех к Юпитеру
120 активных вулканов.

Вулканизм Ио (спутник Юпитера)



Вулканические выбросы
при извержении



Лавовые потоки при
извержении

Вулканизм Ио вызван гравитацией Юпитера и спутников, Ганимеда и Европы



Ио – самая близкая луна к планете-гиганту Юпитеру.
Ио не имеет стационарной орбиты

Вулканизм Ио вызван гравитацией Юпитера и спутников, Ганимеда и Европы

Каждо 7 дней (неделю) Ио попадает под воздействие соседней-спутников и сходит со своей орбиты, а потом возвращается обратно. При этом, возникают приливные силы, вызывающие извержения.



Считается, что изверженный материал Ио – сера. Она, находясь в различных формах, придает причудливую окраску поверхности. Возможно, на Ио бывают извержения и силикатных пород, похожих на земные вулканы.

Строение Солнца

Internal structure:
inner core
radiative zone
convection zone

Subsurface flows

Photosphere

Chromosphere

Corona

Вращение Солнца

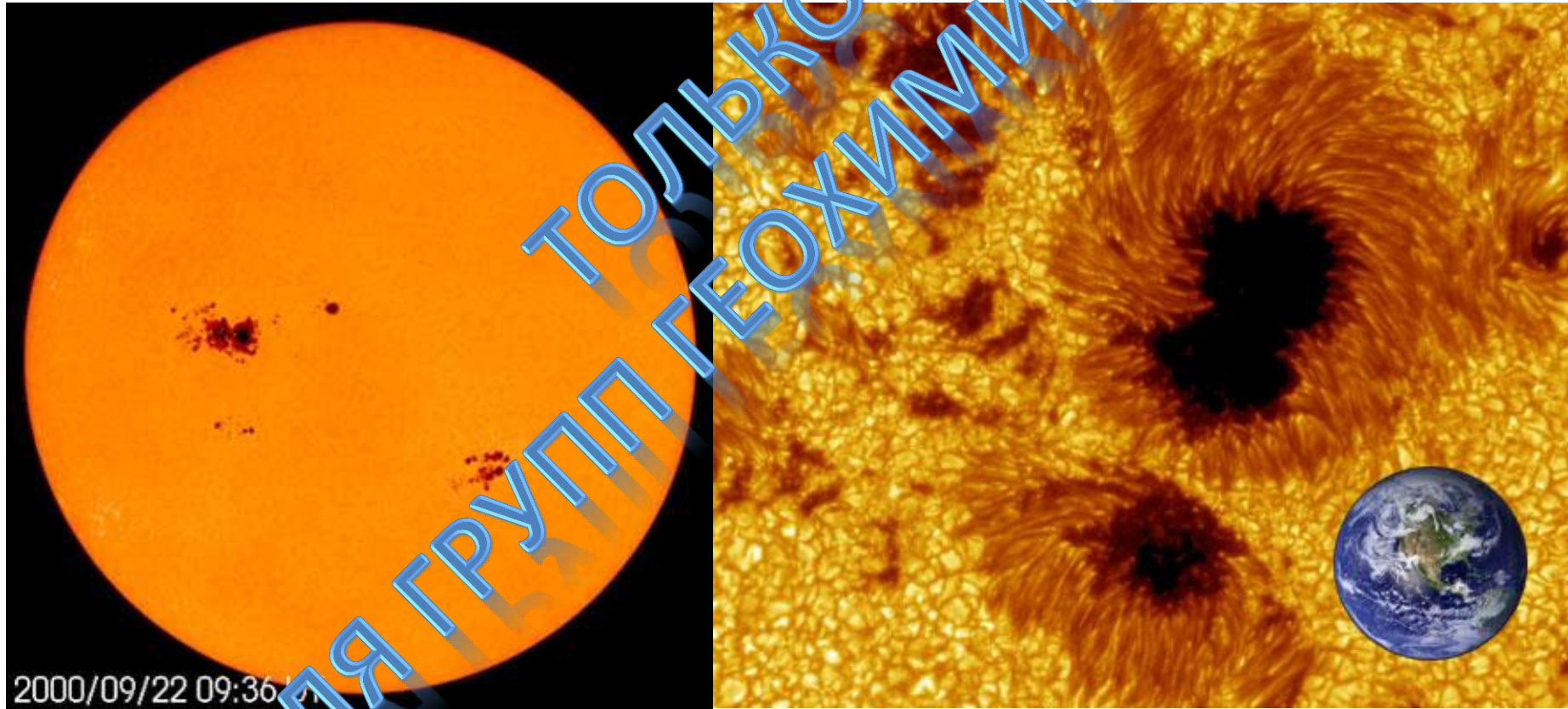
Широта	Время оборота
Экватор	25.05 дней
46°	25.38 дней
Полюса	34.4 дня

**Температура ядра
около 1 000 000 °C**

**Температура поверхности
5500 °C**

Вулканизм на Солнце?

Пятна на Солнце – это участки с более низкой температурой. Их количество меняется циклически с периодом 11 лет.

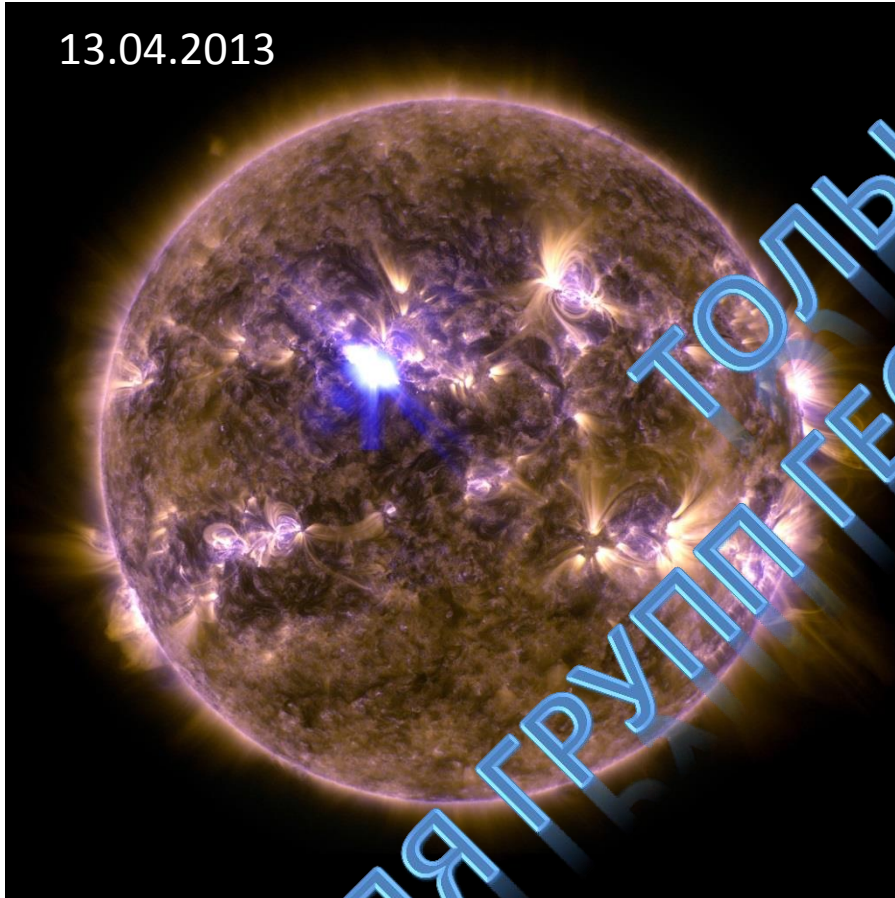


Размер пятен сравним с размером Земли

Вулканизм на Солнце?

Солнечные вспышки сопровождаются выбросами вещества, магнитного и рентгеновского излучения

13.04.2013



Излучение достигает Земли и является причиной северных сияний

Конец фильма?

Конец фильма

Только
для группы геохимиков МГУ