

## Из чего сделана Луна? NASA выпустило 3D геологическую карту

Что привело бы геологическую карту Луны NASA в следующее измерение? Один увлеченный геофизик, вооруженный программным обеспечением для 3D-моделирования, принял вызов.

*“Я ученый-геолог, поэтому могу оценить ту тяжелую работу, которая была проделана для создания продукта такого масштаба. Я был впечатлен, а также любопытно понять методологию, используемую для создания этой карты. Какой тип гридирования или обработки изображений использовался для создания этого?” - говорит геофизик проекта Джефф Пластоу в Seequent.*

*“Это кульминация 50-летней развития науки и данных, которые объединены на одной карте. На самом деле это просто удивительно”.*

**Единая геологическая карта Луны** (<https://www.usgs.gov/news/usgs-releases-first-ever-comprehensive-geologic-map-moon>) была результатом совместных усилий ученых Геологической службы США (USGS), НАСА и Планетарного института Луны (Lunar Planetary Institute). Несмотря на то, что это кажется таким далеким, создание 2D-карты другой планеты столкнулось с проблемами, знакомыми любому земному ученому-геологу.

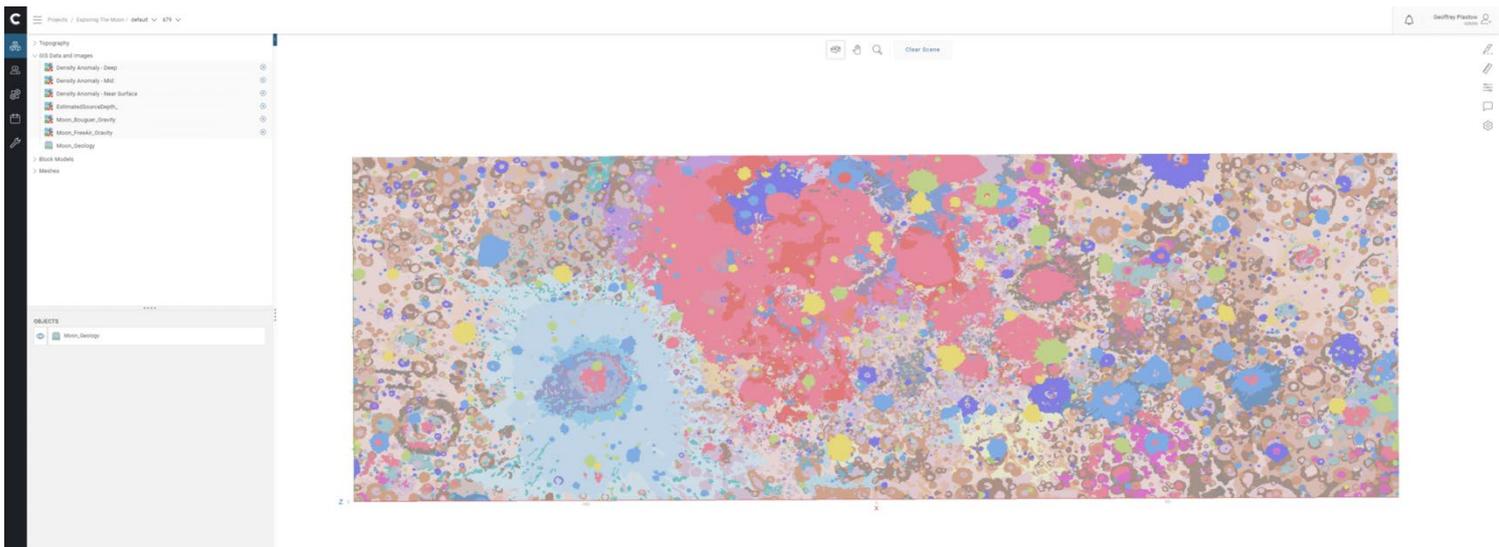
*“У вас есть все данные: некоторые из них цифровые, некоторые с точной географической привязкой. Собрать все это воедино было нелегко. Если вы работаете над исследовательским проектом или картографическим проектом здесь, на Земле, у вас есть те же проблемы в несколько ином масштабе”*

Карта Луны - это, по сути, самая удаленная геологическая съемка человечества.

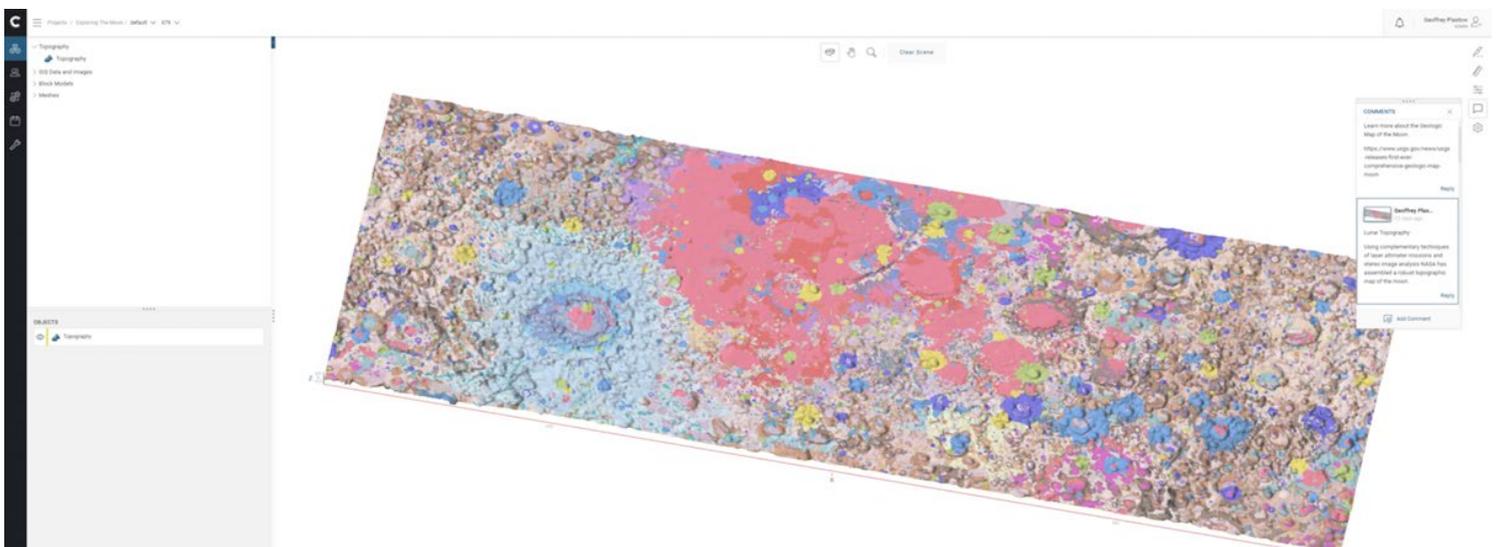
Просто нет времени и ресурсов, чтобы физически собирать геологические образцы повсюду на месте, будь то на Земле или в океане (а тем более на Луне). Геофизические исследования способны собирать данные на больших площадях в отдаленных местах, независимо от того, на каком планетарном теле они находятся.

*“Здесь, на Земле, мы используем дистанционное зондирование. Мы используем спутниковую информацию. Мы используем компьютерную обработку. Мы используем любые доступные данные. И НАСА сделало то же самое. Они просто сделали это в другом масштабе”.*

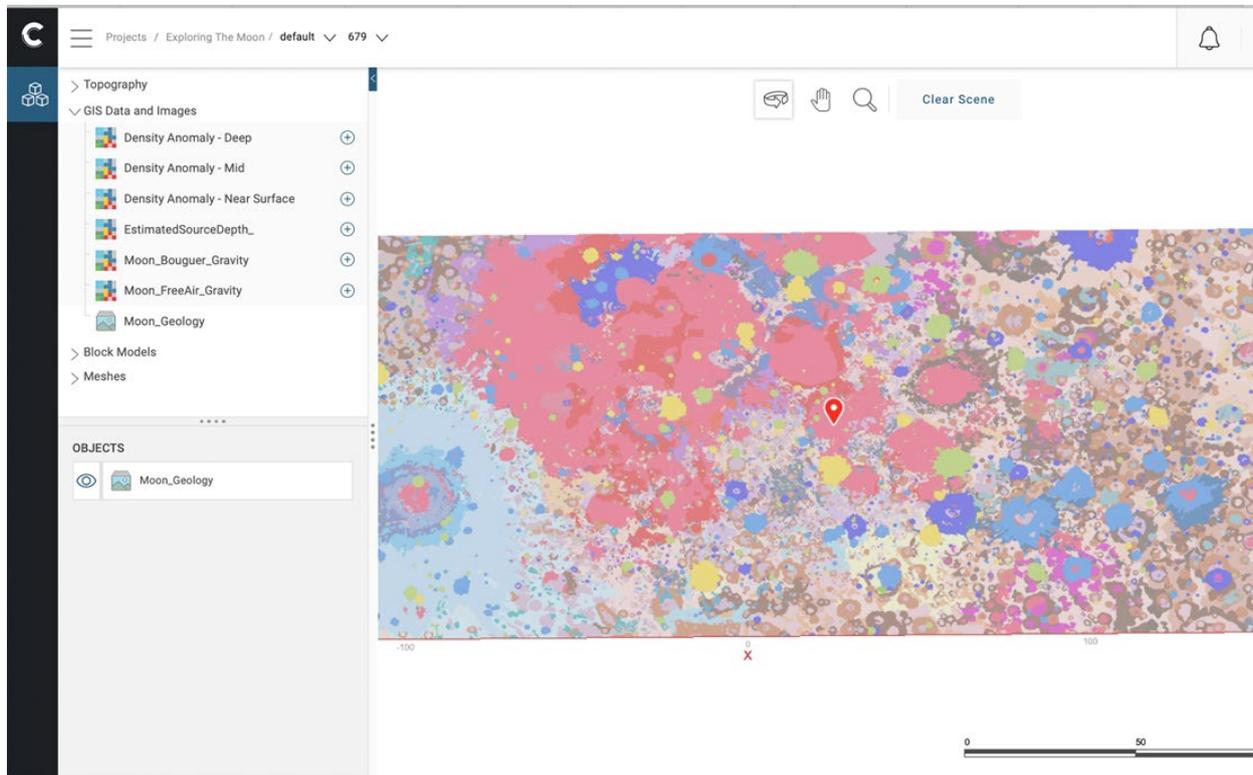
Взгляните на данные, лежащие в основе нашей псевдо-геологической модели Луны, используя веб-визуализацию Seequent Evo в Seequent Central:



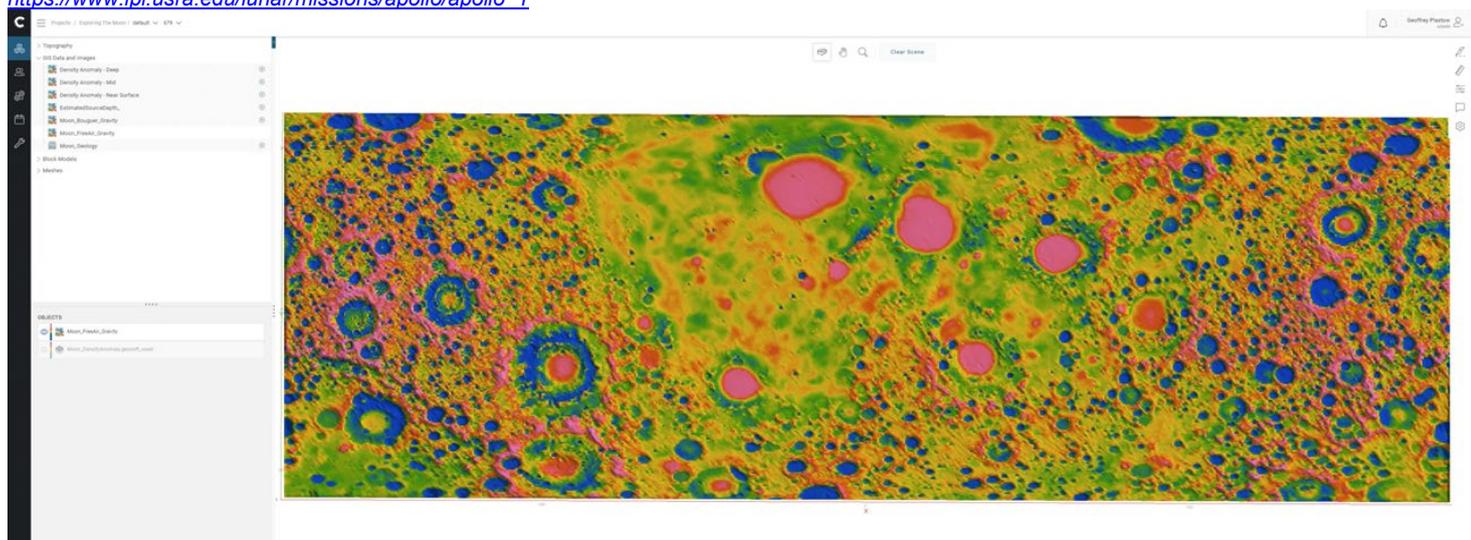
Узнайте больше о Геологической карте Луны: <https://www.usgs.gov/news/usgs-releases-first-ever-comprehensive-geologic-map-moon>



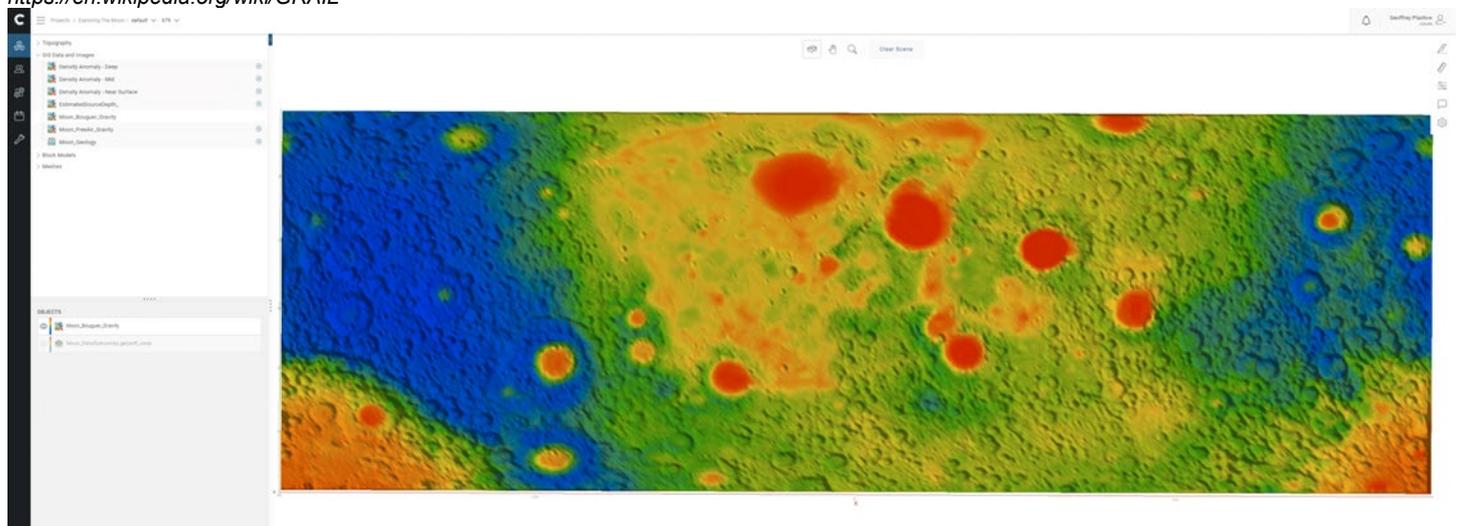
Используя дополнительные методы лазерного высотомера и анализа стереоизображений, НАСА собрало надежную топографическую карту Луны.



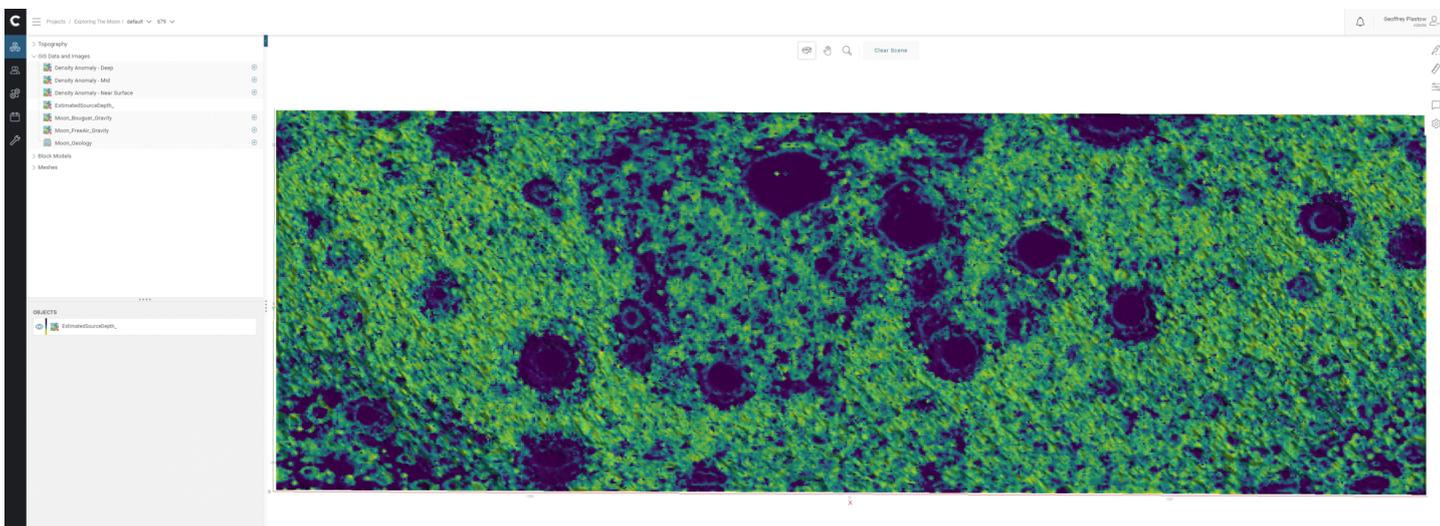
Место посадки "Аполлона-11", 20 июля 1969 года, Море Транквиллитатис. "Один маленький шаг для человека, один гигантский скачок для человечества". Первые образцы горных пород, собранные на Луне. Кроме того, на месте проведена первая лунная геофизическая разведка для обнаружения и количественной оценки "сейсмических явлений на луне". Дополнительная информация: [https://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/apollo/apollo\\_1](https://www.lpi.usra.edu/lunar/missions/apollo/apollo_1)



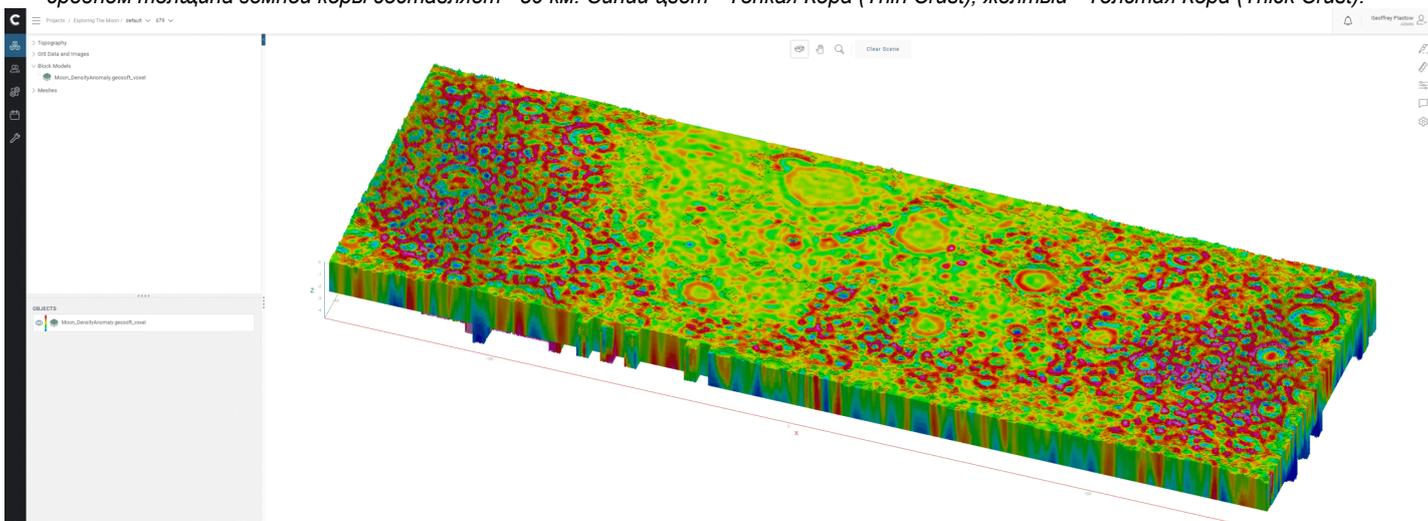
Гравиметрические аномалии в свободном воздухе (аномалии Фая) по результатам миссии НАСА "Грааль". Подробности: <https://en.wikipedia.org/wiki/GRAIL>



Гравиметрические аномалии в редукции Буге: Используя данные лунной топографии, топографические эффекты были удалены из аномалий Фая, чтобы выявить гравиметрические аномалии, связанные с геологией.



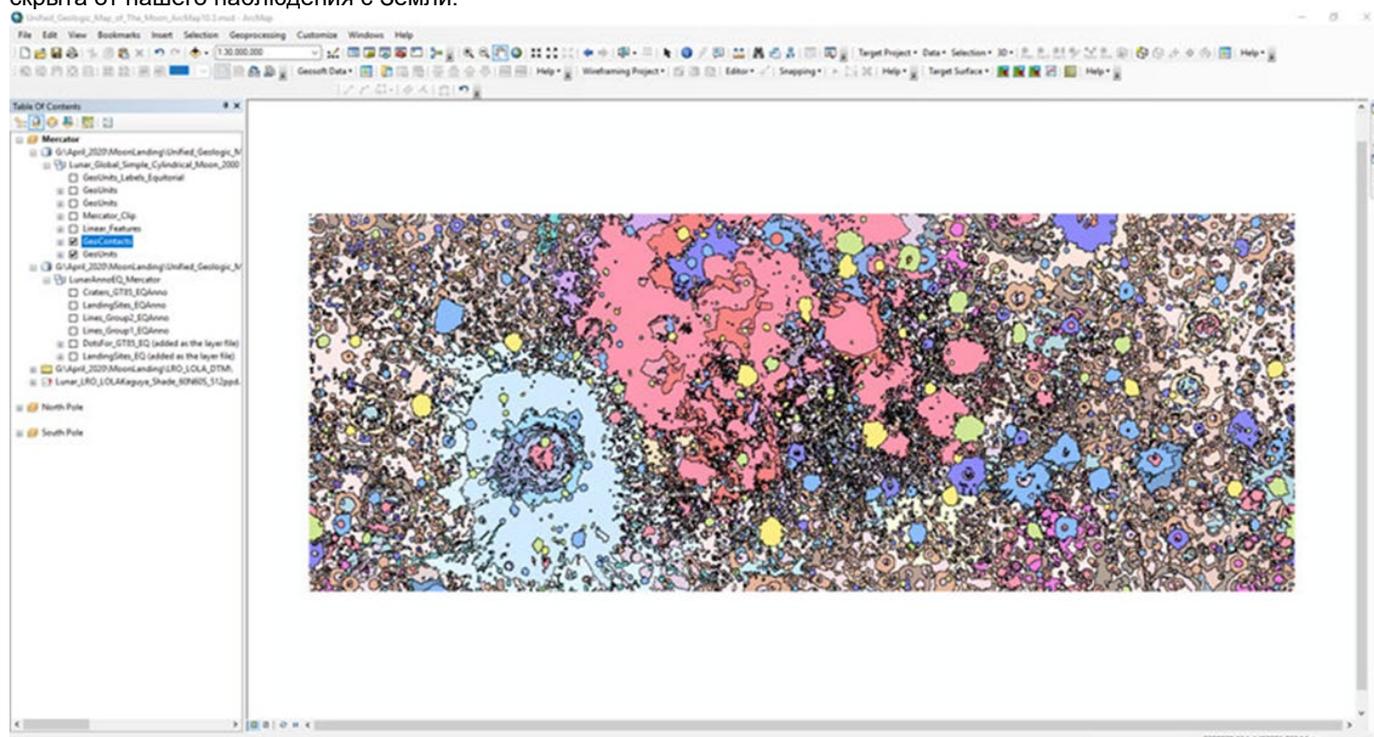
Используя данные гравиметрии в редукции Буге, оценка глубины до источника была произведена с использованием Oasis montaj. В среднем толщина земной коры составляет ~50 км. Синий цвет - Тонкая Кора (Thin Crust), желтый - Толстая Кора (Thick Crust).



Плотность лунных пород: Используя VOXI Earth Modeling и Oasis montaj, была выполнена 3D-инверсия гравитационных данных GRAIL. 3D - модель отображает восстановленные значения плотности под поверхностью Луны.

## Увидимся на темной стороне Луны

Из-за особенностей орбиты есть сторона Луны, которую мы не видим. Многие люди, вероятно, сразу же отправились посмотреть на так называемую "темную сторону" на карте. Джефф обнаружил одну впечатляющую особенность, которая скрыта от нашего наблюдения с Земли.



Лунные данные были загружены в Esri ArcGIS.

*"Это самый большой известный кратер в нашей Солнечной системе. Южный полюс- Бассейн Айткен (South Pole-Aitken Basin) шириной около 2500 км больше любого кратера на Земле".*

Но это еще не все, что привлекло его внимание.

*"Меня привлекли гравитационные данные", - смеется он.*

*"Я подозревал, что для получения большого количества структурных и линейных данных они использовали дистанционное гравитационное зондирование. У них, конечно, есть довольно хорошая цифровая карта высот, полученная с различных орбитальных спутников. Таким образом, они использовали комбинацию цифровых данных о высоте, фотографии поверхности Луны с высоким разрешением, информацию спектрального дистанционного зондирования и, конечно же, гравиметрию".*

Когда вы знаете, что составляет карту, вы можете определить: как можно смоделировать данные? Джефф рассматривал области с высокой концентрацией гравитационных аномалий, концентраций масс или "дефект масс".

Дефекты масс или гравитационные аномалии в любом наборе данных всегда интересуют геофизиков. В районе Южный полюс - Бассейн Айткен было на что посмотреть.

Но сначала была большая проблема с данными о Луне, которой у вас не было бы на Земле.

## Получение лунных ориентиров

Уникальной проблемой для этой внеземной карты было то, что на Луне GPS не существует.

*"Откуда ты знаешь, где находишься на Луне? То, что мы считаем само собой разумеющимся, - это проекция системы координат. На Земле существует множество различных систем координат: широта и долгота, направления на восток и север. А как вы определитесь на другой планете?"*

Карта использует пользовательскую систему координат для Луны: Луна 2000. Таким образом, данные и Джефф смогли сориентироваться.

*"Все различные наборы данных должны соотноситься друг с другом. Вся гравиметрия, спектрометрия и все карты с интерпретированными разломами - должны быть связаны друг с другом в одном и том же координатном пространстве".*

НАСА и USGS любезно сделали все данные карты Луны общедоступными в формате Esri ArcGIS.

*"Единственное, что меня поразило, когда я открыл его в Esri ArcGIS - все открылось в нужном месте", - говорит Джефф.*

*"Когда я загрузил данные, они открылся как набор данных, на которые я просто смотрел здесь, в Северной Америке. Единственная разница в том, что в нижнем углу было написано "Луна 2000"."*

## Переход к данным

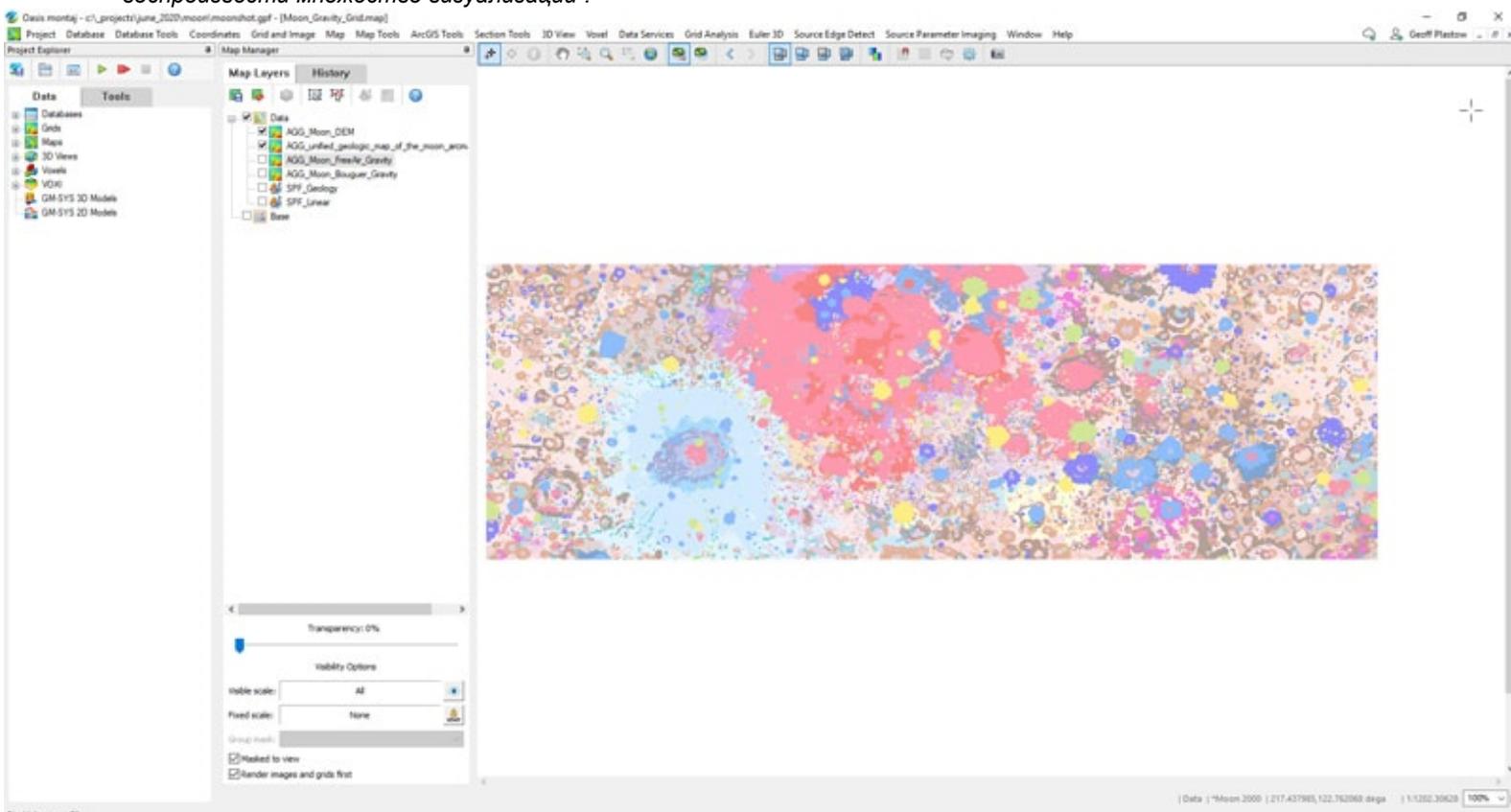
Компании Seequent и Esri являются партнерами. Джефф знал, что данные будут интегрированы с геоаналитическим программным обеспечением Seequent.

*"Когда я увидел это, я подумал: могу ли я принести это в Oasis montaj или Target for ArcGIS? Он имеет систему координат. И это данные геоаналитики..." - говорит Джефф.*

*"И открылись они довольно легко. Я экспортировал их из Esri ArcGIS. Я сделал немного операций с данными, чтобы получить их в более подходящем формате".*

Передача картографических данных в Oasis montaj была лишь первым шагом.

*"Я смог вскрыть геологические слои, контакты, линейные элементы и гравитационные данные. И мне удалось воспроизвести множество визуализаций".*



Данные о Луне перемещаются из Esri ArcGIS в Oasis montaj.

## Глубже в темную сторону

Единая геологическая карта Луны представлена в 2D, но данные конечно содержат 3D информацию. Гравитационные данные - это геофизические измерения, отражающие относительные изменения плотности горных пород. Вы можете посмотреть на различные гравитационные исследования, чтобы понять относительные глубины, плотности и размеры структур под поверхностью.

*“Насколько глубоко некоторые из этих гравитационных структур? На какой глубине они находятся под поверхностью Луны? А потом, как и в земных проектах, мы хотели бы получить некоторое представление о плотности горных пород”, - говорит Джефф.*

Как можно превратить 2D-карту в 3D-модель? К счастью, и необработанный набор гравитационных данных, и набор редукций гравитационных данных были предоставлены и определили подход.

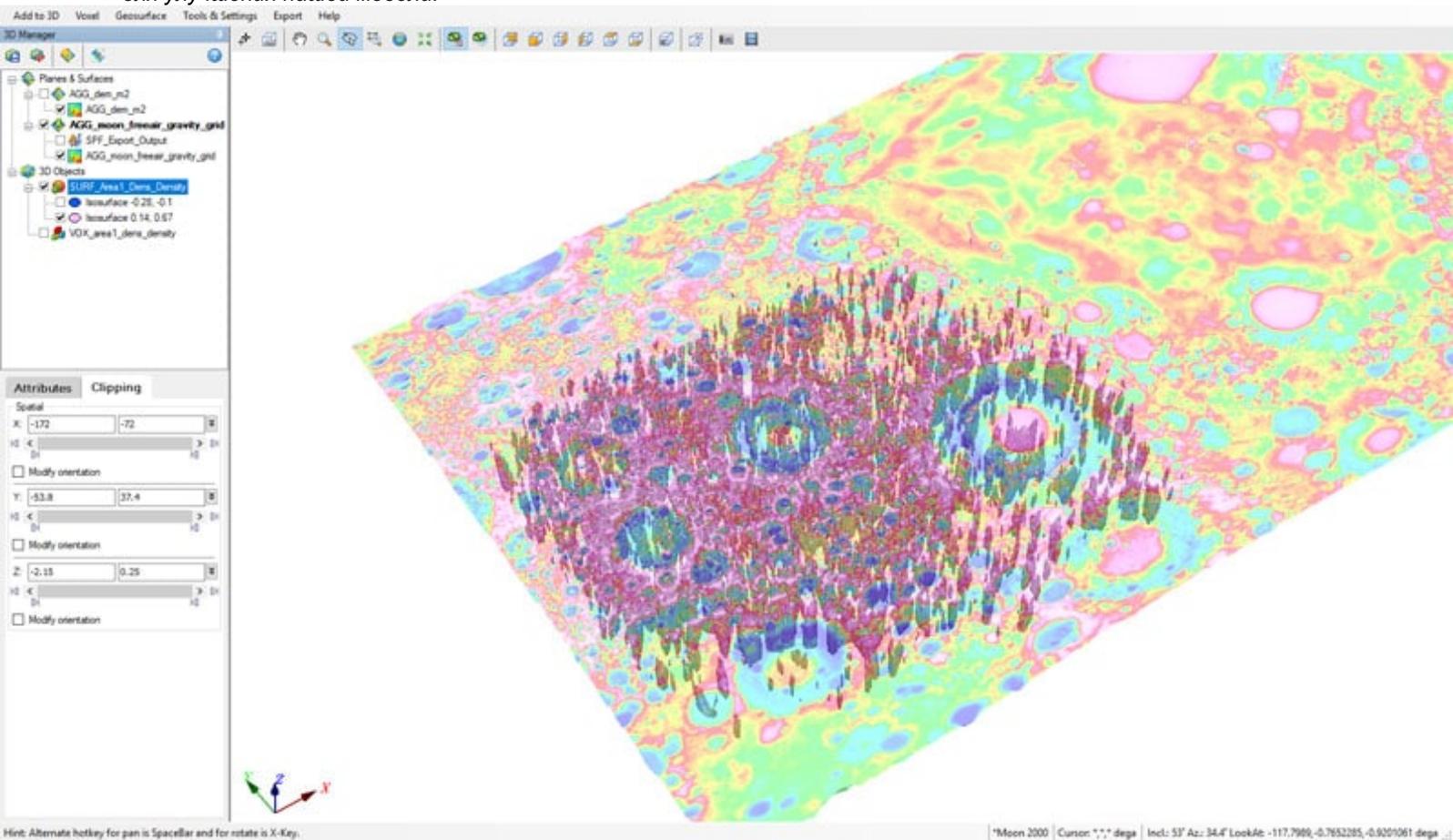
В рамках проекта Гравитационных исследований и недр лаборатории (Gravity Recovery and Interior Laboratory - GRAIL) НАСА покрыло поверхность Луны гравитационными данными в редукции Фая и Буге.

*“Редукция [Буге] удаляет топографические эффекты, они убрали их, используя собранную цифровую модель рельефа. И это дает нам некоторое представление о структуре под поверхностью”, - объясняет Джефф.*

*“Я работал с инструментами для потенциальных полей в Oasis montaj, чтобы определить быстрые оценки глубины источника, просто чтобы дать нам быстрое приблизительное представление о том, насколько глубоко некоторые из этих структур”.*

Затем Джефф взял исправленный набор данных и отправил его в «облако» для выполнения геофизической инверсии, создав 3D-модель (воксель), используя VOXI Earth Modeling. Между подготовкой данных и завершением инверсии весь процесс занял всего полтора часа.

*“Я сделал то, что в VOXI мы назвали бы “неограниченной инверсией”, - объясняет Джефф. Это нормальный первый шаг при работе с новым набором данных, особенно такого размера. Мы анализируем и сравниваем, насколько хорошо наблюдаемые гравитационные данные совпадают с моделируемыми гравитационными данными, и при необходимости корректируем параметры 3D-моделирования. Мы всегда можем включить дополнительную информацию, чтобы ограничить инверсию, например, физические свойства породы или структурную информацию для улучшения нашей модели.”*



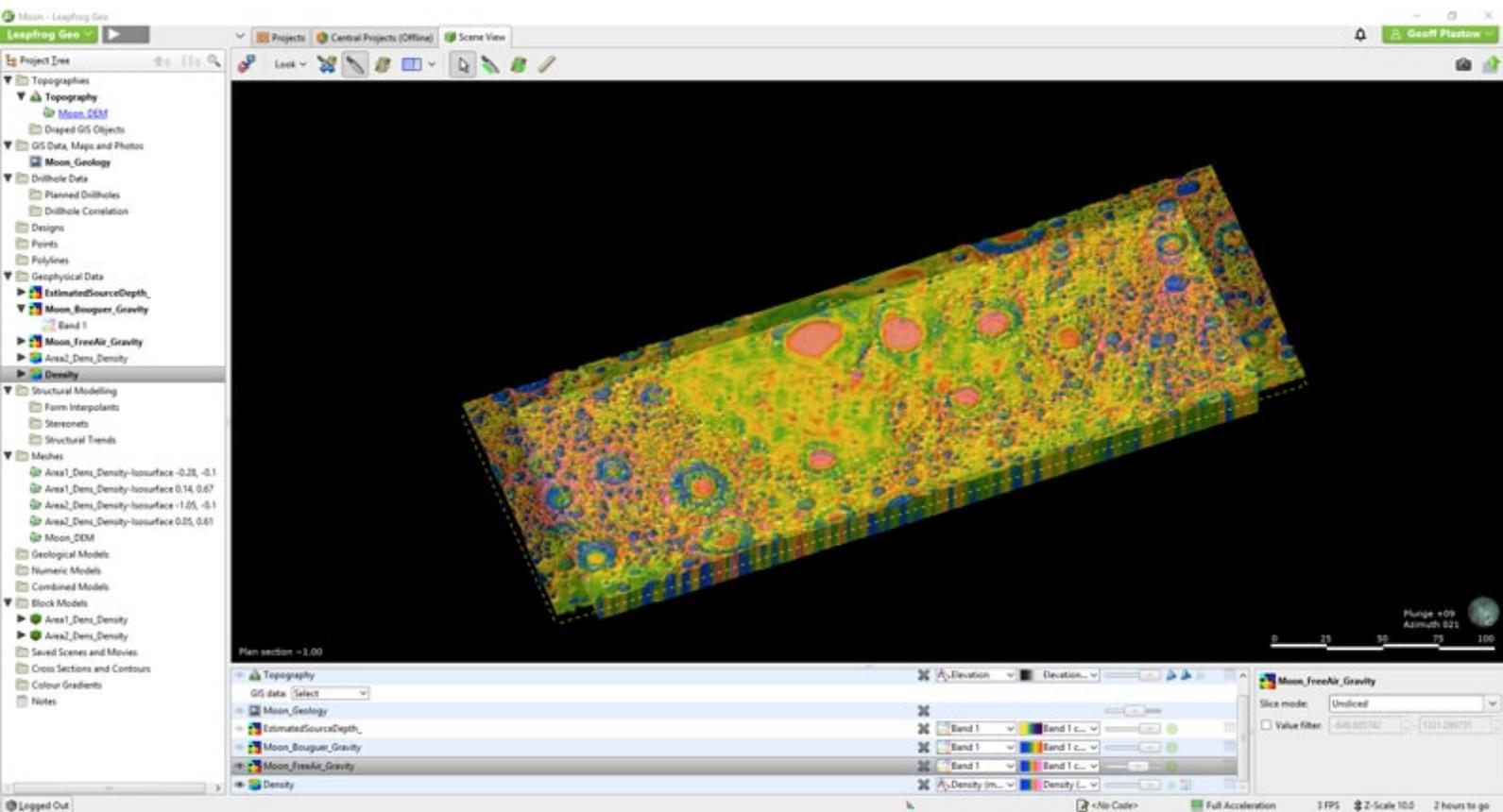
Обзор лунных 3D данных, созданных с помощью опции VOXI Earth Modeling в Oasis montaj.

## Недостающие звенья

Но мы еще многого не знаем. Никто не будет бурить на Луне скважины. В общей сложности астронавты "Аполлона" собрали и привезли всего 381,69 кг образцов. Это удивительное количество, но даже с этими образцами жизненно важные геологические данные остаются недоступными под поверхностью.

*“Мы знаем, что есть разлом или геологический контакт. Это видно по визуальным данным спутниковой фотосъемки, а затем по цифровой модели рельефа. Мы можем интерпретировать ошибки, но мы не знаем, что происходит под поверхностью. Мы не знаем: является ли разлом вертикальным? Или это мелкий разлом? Мы понятия не имеем, какое направление погружения.”*

Тем не менее, удалось внедрить модель VOXI в Seequent Central - облачное решение для совместной работы и управления данными. Таким образом, данные гридов могут быть импортированы непосредственно в геологическую модель Leapfrog Geo 3D для дальнейшей 3D-интерпретации.



Трёхмерная плотностная модель Луны, импортированная в Leapfrog Geo из Oasis montaj.

## Интерактивная 3D - карта Луны

3D – модель Leapfrog далека от совершенства, но это еще один маленький шаг для составления Единой геологической карты Луны - гигантского скачка для межпланетной геологии.

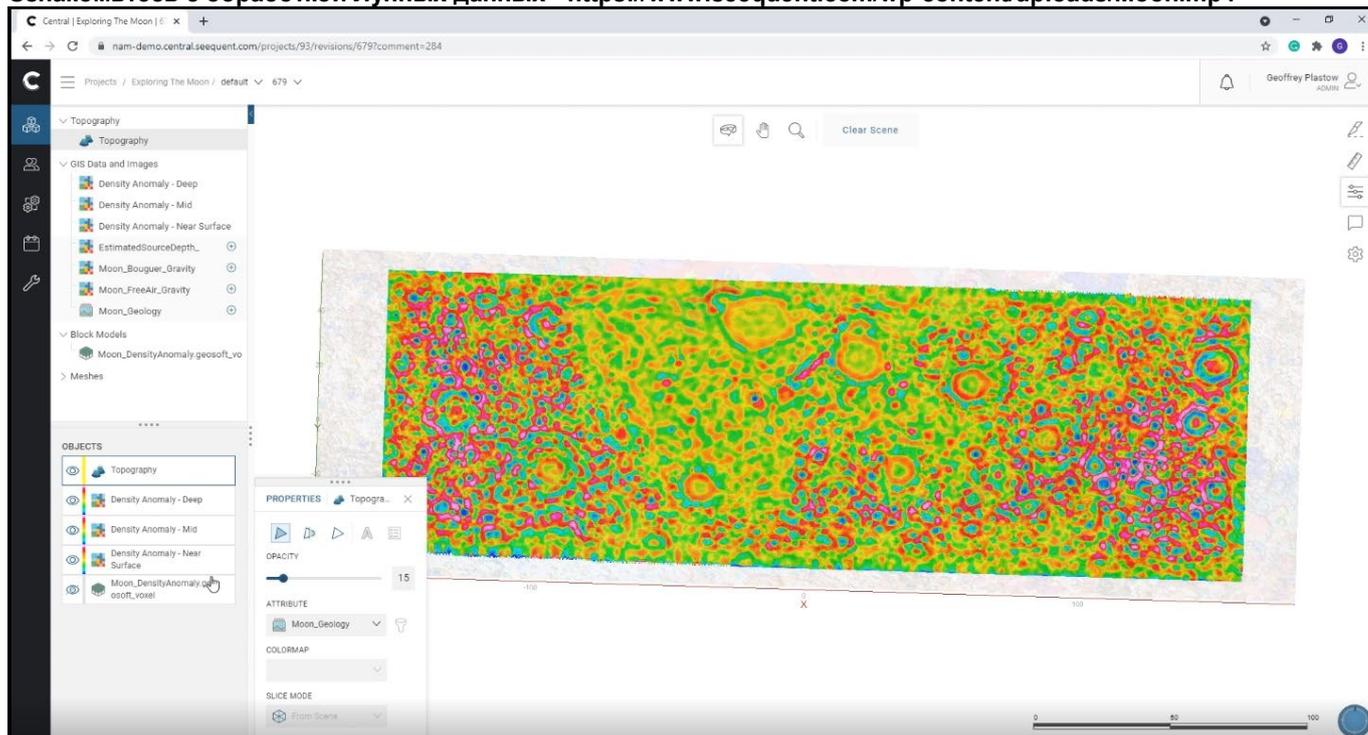
*“В каком-то смысле любая геонаучная модель неверна. С добавлением новой информации наши модели могут быть улучшены и усовершенствованы”.*

*“Итак, если мы когда-нибудь определим, какое направление падения у некоторых из этих разломов, то сможем легко обновить модель, а затем приступить к уточнению геолого-геофизической модели”.*

Джефф был в восторге от новой карты Луны, но еще больше его волновало, что она означает для будущего.:

*“Удивительно думать, что есть организации и группы, которые также думают об исследовании астероидов. Как мы можем извлечь уроки из этих усилий и применить их к астероиду? Это может звучать как научная фантастика, но эта работа и исследование уже ведутся”.*

**Ознакомьтесь с обработкой Лунных данных - <https://www.seequent.com/wp-content/uploads/Moon.mp4>**



Ознакомьтесь с руководством по всем многоуровневым данным с использованием веб-визуализации Sequence Evo - <https://www.seequent.com/company/seequent-evo/>