

## СКРЫТЫЙ ОКЕАН ЦЕРЕРЫ

АНАНЬЕВА Владислава Игоревна

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394820050047

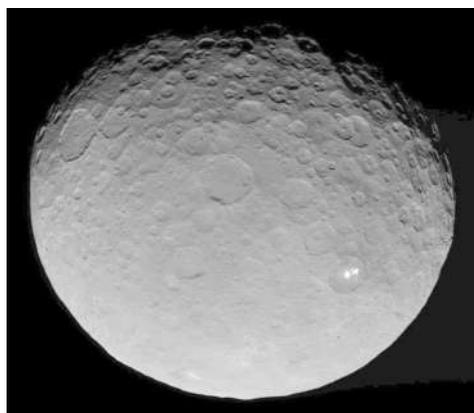
**Анализ данных, собранных автоматической межпланетной станцией Dawn (NASA) во время расширенной миссии, показал, что в недрах Цереры скрыт соленый океан, который и по сей день не замерз полностью.**

Церера – крупнейшее тело Главного пояса астероидов, в 2006 г. получившее статус карликовой планеты. Ее форма – сплюснутый эллипсоид размерами примерно 964 на 892 км, т. е. в 3.7 раза меньше Луны. Церера вращается вокруг Солнца по слабояэллиптической орбите с большой полуосью 2.77 а.е. и эксцентриситетом 0.076, и делает один оборот за 4.61 года. Средняя температура поверхности Цереры – всего 155 К (–118° С).

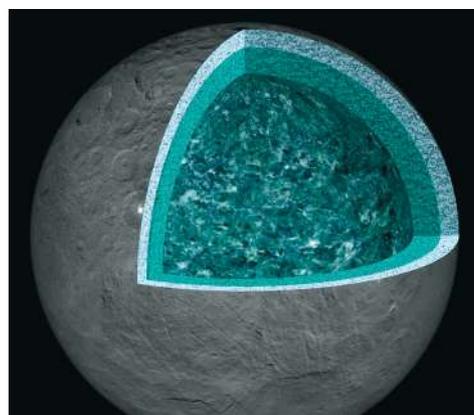
Что можно ожидать от такого небольшого тела, лишённого внутренних источников тепла? Даже на Луне вулканическая активность угасла миллиарды лет назад. Долгое время ученые считали, что Церера – инертный мир, покрытый ударными кратерами и лишённый какой-либо внутренней активности. Однако данные, собранные КА Dawn (NASA, запуск 2007 г., миссия официально завершена в 2018 г.), показали, что это совсем не так. Церера оказалась планетой с богатой геологической историей, до настоящего времени проявляющей геотермальную активность и скрывающей в своих недрах жидкий соленый океан.

10 августа в журналах *Nature Astronomy*, *Nature Geoscience* и *Nature Communications*<sup>1</sup> было опубликовано семь статей, посвященных Церере (кроме этого, последние статьи находятся

в открытом доступе). Исследователи объединили данные о гравитационном поле карликовой планеты, о составе ее

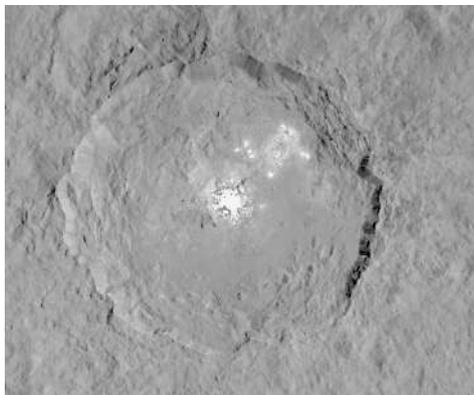


Церера. Снимок получен КА Dawn 4 мая 2015 г. с расстояния 13,6 тыс. км



Модель внутреннего строения Цереры

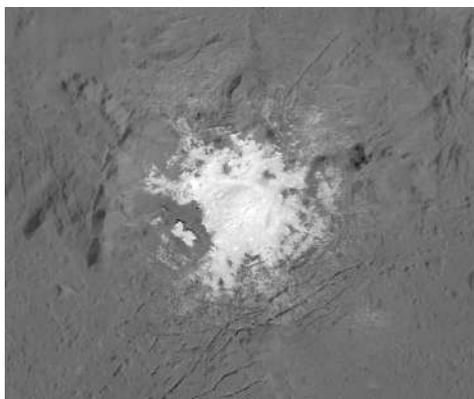
<sup>1</sup> Nature Astronomy 4, 8, August 2020; Nature Geoscience 13, 8; Nature Communications 11. <https://www.nature.com>



Кратер Оккатор, дно которого покрыто яркими пятнами («факелами») – отложениями соды и других солей

поверхности и о формах рельефа, чтобы получить цельную картину этого необычного мира.

Как оказалось, Церера прошла частичную гравитационную дифференциацию (разделение на слои) и состоит из более плотной мантии и легкой коры со средней толщиной 41 км. Механически прочная кора представляет собой замерзшую грязь – в ее составе 40% или несколько меньше водяного льда, каменные породы (преимущественно филлосиликаты), соли и клатраты метана. Непосредственно под



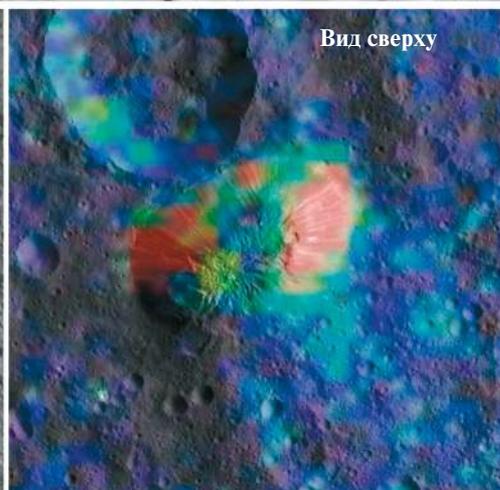
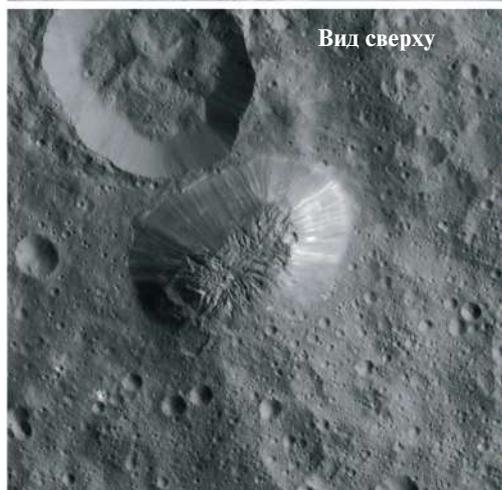
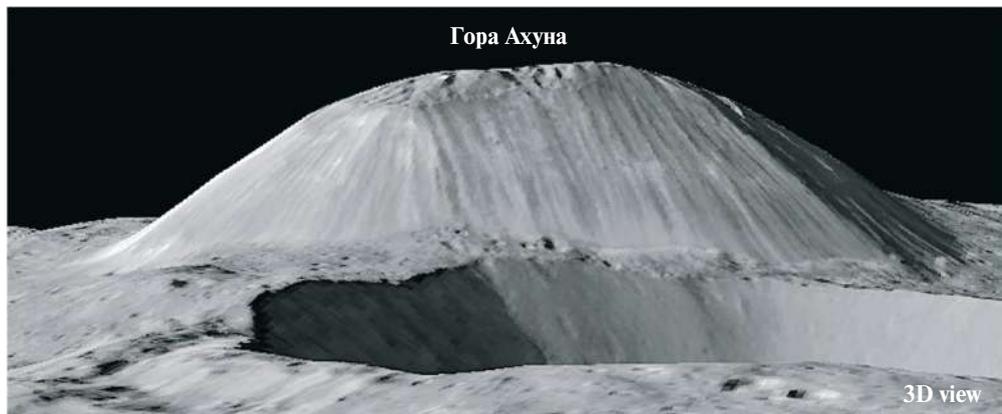
Центральная часть кратера Оккатор – факел Цереалий вместе с центральным соляным куполом *Cerealia Tholus*

корой, в верхней мантии, находится непрочный слой, насыщенный жидким рассолом – остаток древнего океана. Среди солей, растворенных в воде, – хлорид натрия (поваренная соль), карбонат натрия (сода) и хлорид аммония. Растворенные соли позволяют воде не замерзать вплоть до 245 К (–28° С). Под слоем рассола (глубже 100 км) лежит мантия из горных пород со средней плотностью 2434 кг/м<sup>3</sup>.

Одна из самых заметных деталей рельефа на поверхности Цереры – 92-километровый ударный кратер Оккатор, чей возраст оценивается в 22 млн лет. Дно этого кратера покрыто яркими пятнами – отложениями солей, преимущественно соды, получившими наименование «факелов»: *Cerealia Facula*, *Vinalia Faculae* и др. В центре кратера расположен 600-метровый соляной купол Цереалий (*Cerealia Tholus*).

В конце расширенной миссии КА *Dawn* вышел на эллиптическую орбиту с высотой перигеицентра в 35 км. Разрешение снимков, полученных в моменты максимального сближения, достигло 3 метра на пиксель! Изображения, полученные во время этих пролетов, показали центральный факел Оккатора Цереалий (*Cerealia Facula*) во всех подробностях.

Анализ снимков показал, что многочисленные эпизоды подъема грунтовых вод, сопровождающиеся испарением воды и отложением солей, продолжались на протяжении миллионов лет и не завершились и по сей день. Спектрометры КА *Dawn* обнаружили в составе соляного купола минерал гидрогалит (гидратированный хлорид натрия  $\text{NaCl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), который на поверхности Цереры неустойчив и теряет воду с образованием галита (безводного хлорида натрия) с характерным временем в несколько десятков лет. Больше всего гидрогалита было найдено на вершине купола вблизи пересекающих его радиальных трещин. Толщина солевого слоя меняется от 2–3 м в факеле Виналий (*Vinalia Faculae*) до 50 м и выше на куполе. Общий объем солей, вынесен-



Карбонат натрия

низкая концентрация



высокая концентрация

*3D-модель горы Ахуна, построенная по топографическим данным (вверху).*

*Внизу – снимок Ахуны, полученный КА Dawn*

ных на поверхность в центральной части Оккатора, достигает  $11 \text{ км}^3$ .

Льды, растопленные астероидным ударом при образовании Оккатора, должны были замерзнуть максимум за сотни тысяч лет. Длительное движение грунтовых вод говорит в пользу гипотезы, что поднимающийся рассол состоит не только из воды, нагретой в момент удара, но и имеет постоянный резервуар на глубине свыше 35 км.

Есть и другие свидетельства того, что в прошлом Цереру покрывал океан.

Кора Цереры содержит филлосиликаты, образующиеся в присутствии жидкой воды. Плотность коры нарастает при увеличении глубины, что объясняется не только уменьшением пористости из-за возрастающего давления, но и ростом концентрации солей. По мере того, как океан замерзал, а толщина коры росла, концентрация солей в растворе увеличивалась. Высокая концентрация солей понижает температуру замерзания и позволяет грунтовым водам дольше оставаться жидкими.

Кроме соляных отложений, дно кратера Оккатор демонстрирует и другие формы гляциологического рельефа – например, многочисленные округлые холмы и курганы высотой менее 300 м, напоминающие бугры пучения, которые по-английски называют «пинго» (pingo), а в странах СНГ – булгуньяхами. Такие формы рельефа возникают при замерзании поступающих под давлением грунтовых вод в условиях вечной мерзлоты. Возможно, крупнейшим бугром пучения является и купол Церералий – во всяком случае, пересекающие его трещины очень похожи на трещины на вершинах канадских пинго.

Кроме отложений солей и бугров пучения на Церере нашли и два настоящих криовулкана – 4-километровую гору Ахуна (Ahuna Mons) и 3.8-километровый купол Косеча (Cosecha Tholus). Склоны Ахуны покрыты толстым слоем карбоната натрия. По всей видимости, вместо лавы Ахуна и Косеча извергали холодную вязкую грязь, богатую солями.

Поскольку криолава богата водой, а водяной лед под давлением медленно течет, вулканические конусы из смеси

льда и камня будут постепенно оседать и расплываться. Так, при условии, что в состав криолавы входит 40% воды, гора Ахуна должна оседать со скоростью ~10 метров в миллион лет. Скорее всего, именно текучесть даже мерзлой криолавы приводит к тому, что мы видим на поверхности Цереры только два самых молодых криовулкана. Заметим, что если диаметр основания горы Ахуна составляет 17 км, то диаметр основания купола Косеча близок к 50 км, т. е. последний уже в значительной степени расплылся.

Недавняя криовулканическая активность, движение ледников, просачивание грунтовых вод, еще полностью не замерзший подледный океан – все это делает Цереру интереснейшим местом для сравнительной планетологии и астробиологии. Ученые надеются, что в будущем к Церере будет отправлена новая миссия, которая позволит ответить на множество вопросов – и, наверно, породит новые.

*По материалам Nature, NASA  
Иллюстрации: Фотожурнал NASA  
<https://photojournal.jpl.nasa.gov>*