

**НАТАЛЬЯ БЕСПАЛОВА**

# ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ТИТАНА, СПУТНИКА САТУРНА

Долгое время самая большая луна Сатурна — Титан — считалась также крупнейшим спутником во всей Солнечной системе. Сейчас установлено, что наиболее крупным небесным телом такого рода является спутник Юпитера Ганимед, а Титан занимает почетное второе место. Оба эти спутника превосходят своими размерами планету Меркурий. Ошибка астрономов относительно размеров Титана была не случайной, а обусловленной уникальным для этого класса небесных тел свойством. Титан единственный среди спутников планет Солнечной системы обладает собственной плотной атмосферой. Малопрозрачная, интенсивно отражающая солнечные лучи она визуально увеличивает его диаметр.

До сравнительно недавнего времени поверхность спутника была скрыта от наблюдателей за сияющей вуалью, что существенно затрудняло его изучение. В 1944 году Джерард Койпер установил сам факт существования атмосферы. 1 сентября 1979 года станция «Пионер-11», пролетая вблизи Титана, передала на Землю пять его снимков. 12 ноября 1980 года «Вояджер-1» прошел в 5 600 км от Титана, однако полученные им снимки не позволили различить какие-либо детали поверхности из-за дымки в атмосфере. «Вояджер-1» смог изучить только состав атмосферы и определить основные данные, такие как размер и масса, также был уточнен орбитальный период. Первые фотографии, пролившие свет на структуру поверхности Титана, были получены телескопом «Хаббл» в 1990-х годах.

15 октября 1997 года с Земли стартовал автоматический космический аппарат

«Кассини-Гюйгенс», созданный совместными силами НАСА, Европейского космического агентства и Итальянского космического агентства. Аппарат получил свое имя в честь двух астрономов XVII столетия, изучавших систему Сатурна. Христиан Гюйгенс первым открыл Титан в 1655 году. Джованни Кассини обнаружил еще четыре луны Сатурна (Япет, Рею, Тефию, Диону), а также щель в кольце Сатурна. Комплекс «Кассини-Гюйгенс» включал в себя орбитальную станцию «Кассини», которой предстояло стать первым искусственным спутником Сатурна, и спускаемый



Автоматический космический аппарат «Кассини-Гюйгенс».

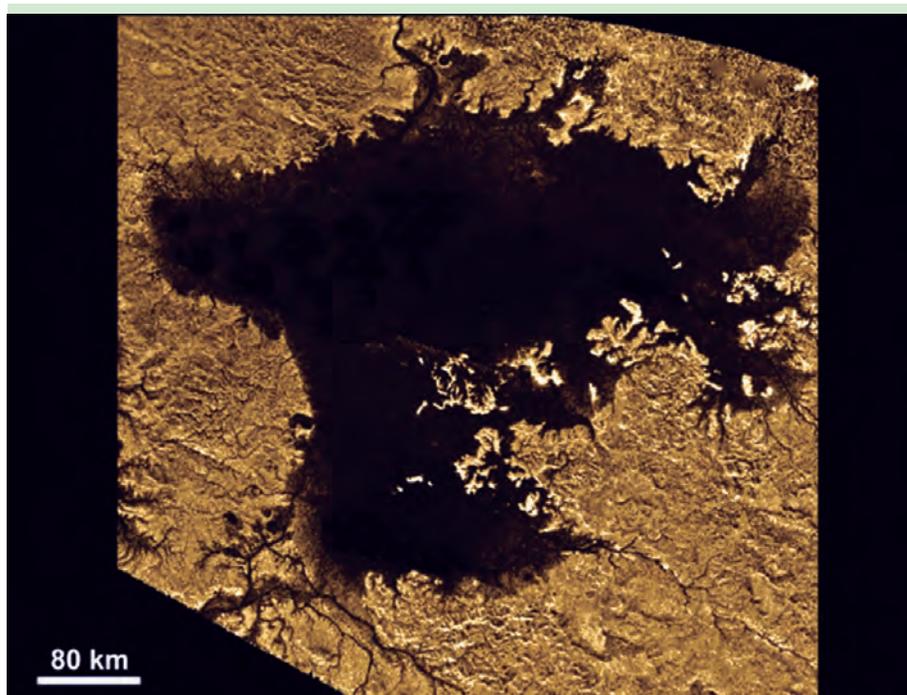
аппарат с автоматической станцией «Гюйгенс», предназначенный для посадки на Титан.

1 июля 2004 года «Кассини-Гюйгенс» вышел на орбиту Сатурна. 14 января 2005 года «Гюйгенс» вошел в атмосферу Титана и обеспечил мягкую посадку автоматической станции на его поверхность. Благодаря работе «Кассини» на орбите и «Гюйгенса» в атмосфере и на поверхности спутника исследователи в настоящее время располагают большим количеством снимков, данными химического анализа и физических приборов и даже звуковой записью шума ветра на Титане. Многократные измерения во время спуска «Гюйгенса» показали, что в атмосфере Титана 98,4 % азота ( $N_2$ ) и 1,6 % метана ( $CH_4$ ), а вблизи поверхности концентрация метана достигает 5 %. В незначительном количестве присутствуют и другие газы, главным образом углеводородные — этан, пропан, ацетилен ( $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_2H_2$ ).

После того как взор астрономов с помощью различных приборов начал систематически проникать сквозь атмосферную дымку, стало известно еще одно уникальное свойство крупнейшего спутника Сатурна. За исключением Земли, Титан является единственным космическим телом Солнечной системы, на поверхности которого имеется жидкость в количестве, достаточном для существования обширных водоемов — рек, озер и, пожалуй, даже морей. Впрочем, не вполне правильно называть эти образования водоемами. Жидкость, которая их образует, — отнюдь не вода.

Настоящая вода на Титане тоже имеется в изобилии, но исключительно в твердом состоянии. Температура воздуха у поверхности составляет приблизительно 94 кельвина ( $-179^\circ C$ ), так что водяной лед существует там на правах обычной скальной породы, как кварц или кремень на Земле. Есть даже пространства, покрытые ледяными песками. Не снегом, а именно мельчайшими крупинками льда, разрушенного эрозией. Ледники на Титане перемежаются кремниевыми образованиями, а реки и озера наполняет жидкий метан ( $CH_4$ ) или его гомолог этан ( $C_2H_6$ ). Больше всего им подошли бы названия «метаноем» и «этаноём». В розоватом небе над Титаном проплывают оранжевые метановые облака, с которых иногда срывается метановый дождь или снег, тоже оранжевый. Эту заманчивую картину ученые восстановили постепенно, год за годом изучая всё новые и новые данные.

Наличие метановых морей на Титане начали подозревать еще до путешествия «Кассини-Гюйгенса». Информация о температуре на поверхности, которая как раз соответствовала температуре между точкой плавления и точкой кипения метана, была получена раньше. Кроме того, было известно, что нижние слои атмосферы значительно богаче парами метана, чем верхние, что наводило на мысль о его испарении с поверхности открытых резервуаров. Но о характере этих резервуаров много спорили. Одни полагали, что вся



Радарный снимок моря Лигеи (Ligeia Mare) в северной полярной области Титана.

поверхность спутника покрыта океаном, другие — что там есть лишь разрозненные мелкие лужи.

«Гюйгенс» опустился на поверхность Титана вблизи экватора, в пределах темного пятна, одного из тех, которые астрономы былых времен обожали называть морями. Лелея надежду найти обитаемые миры, они называли такие пятна морями и на Луне, и на Марсе, но там это были просто низменности, где так и не нашли воды и вообще какой-либо влаги. Место посадки «Гюйгенса» тоже не было морем в полном смысле этого слова, но оно не было и абсолютной сухой. В момент контакта с поверхностью раздался характерный шлепок, как будто станция плюхнулась в жидкую грязь или мокрый песок, а камеры показали равнину, усеянную округлыми валунами, которые были явно отшлифованы потоком. Дальше тянулись гряды черных дюн, вытянутых с запада на восток, по направлению ветра.

Как выяснилось, валуны состояли из водяного льда, а грязь была в значительной степени образована жидким метаном. Химический же состав дюн точно определить до сих пор не удалось. Было установлено, однако, что содержание водного льда в них — наименьшее, чем во всех других формах рельефа на Титане. Предполагают, что это сложные углеводородные соединения, так называемые толины. Они возникают из простых углеродных соединений под воздействием ультрафиолетового излучения. Впервые термин «толин» был введен в обиход известным астрономом Карлом Саганом. Он получил подобное вещество в ходе экспериментов с газовыми смесями. В естественных условиях толины не образуются на Земле на ее современном этапе развития, но они считаются химическими предшественниками развития жизни на ней. Толины не содержат кислорода, их «кирпичиками» являются атомы водорода, углерода и азота.

Местность, где оказалась «Гюйгенс», имела гораздо больше прав называться морем, чем какое-нибудь Море Туманов или Море Дождей, чьи названия звучат насмешкой для небесного тела, где нет атмосферы.

Тут была и вода, и жидкость. Правда, вода отдельно, а жидкость — отдельно, но это было вполне ожидаемо на таком расстоянии от Солнца. А потом с помощью «Кассини» в районе северного полюса Титана был обнаружен самый настоящий Озерный край. Причем на этот раз удалось поймать блики с гладкой, отражающей свет поверхности, так что не осталось сомнений: мы имеем дело не с влажными низинами, а с самыми настоящими озерами. На сегодняшний день известно около 400 таких «водоемов». Площадь некоторых из них меньше квадратного километра, другие настолько велики, что их называли морями. Крупнейшее среди них — море Кракена — достигает в поперечнике 1 200 км. Его площадь составляет около 400 000 км<sup>2</sup> — он чуть больше Каспия. Море Кракена сообщается узким проливом с морем Лигеи, ширина которого — 500 км, а площадь — около 100 000 км<sup>2</sup>, что вдвое больше Байкала и Ладоги вместе взятых. Третьим по размеру (около 380 км в ширину) является море Пунги — самый северный из «водоемов» Титана, расположенный совсем близко от полюса. Имеются на Титане и реки. Так, в конце 2012 года была обнаружена хорошо развитая речная система, формой и ориентацией напоминающая земной Нил в миниатюре. Она имеет около 400 км в длину и впадает в море Кракена.

В южной полярной области были найдены одно крупное (протяженностью 230 км) и три небольших озера, а также много сухих округлых впадин, которые по форме напоминают северные озера. Эти впадины навели исследователей на мысль, что обилие озер в северном полушарии по сравнению с южным может быть связано с сезонными особенностями. Период вращения Сатурна, а следовательно и Титана вокруг Солнца, составляет 30 лет. Каждое время года длится здесь около 7,5 лет. Большую часть времени, в течение которого «Кассини» имел возможность вести съемку, в северном полушарии царил зима, а в южном — лето. «Жаркая» погода способствовала интенсивному испарению метановых озер, сильный ветер переносил облака в северные приполярные области, где выпадали обильные осадки. Скоро у наблюдателей появится возможность проверить эту гипотезу. Сейчас в северном полушарии Титана весна, а летнее солнцестояние наступит здесь в 2016 году.

\*\*\*

Надо сказать, что уже вошедшее в привычку определение «метановые озера» тоже не совсем верно. Бо-



Снимок поверхности Титана.

Фото «Кассини-Гюйгенс».

лее детальные исследования химического состава показали, что основным компонентом в них является этан (76–79 %). На втором месте находится пропан (7–8 %), и только на третьем — метан (5–10 %). Кроме того, «водоемы» содержат 2–3 % цианида водорода и около 1 % бутена, бутана и ацетилена. «Титан просто покрыт углеродными соединениями — это гигантский завод органических химических веществ, — заявил Ральф Лоренц, сотрудник лаборатории прикладной физики университета Джона Хопкинса. — Инвентаризация «запасов» Титана является важным окном в его геологическую и климатическую историю».

Сейчас ученые пытаются количественно оценить две «кладовые» углеводородов. Первая из них — обширная система озер в районе северного полюса, которые наполнены жидкими метаном и этаном. Вторая — темные дюны, занимающие большую полосу у экватора и покрывающие 20 % поверхности Титана. Запасы углеводородного сырья там в несколько сотен раз превышают запасы угля на Земле. Что касается озер, то для того чтобы правильно оценить количество углеводородов в них, требуется определить их глубину. Одно время бытовала теория, что «моря» Титана, несмотря

на их внушительную площадь, на самом деле просто мелкие лужи глубиной не более метра. Впоследствии, когда поверхность спутника была более подробно исследована с помощью радаров, эта теория не подтвердилась. Некоторые резервуары действительно мелки, но наиболее крупные имеют значительную глубину. Иногда настолько значительную, что ее невозможно установить. Радиосигнал не достигает дна «водоема». Это значит, что речь идет как минимум о сотнях метров. Среди нескольких сотен уже открытых озер Титана только несколько десятков самых крупных содержат столько углеводородов, что каждое из них могло бы в одиночку обеспечивать освещение, кондиционирование и обогрев жилых домов США в течение 300 лет. Титан располагает на поверхности 3 × 10<sup>4</sup> кубическими километрами углеводородной жидкости и 2 × 10<sup>5</sup> кубическими километрами углеводородных дюн.

\*\*\*

Если мы имеем планету (не совсем планету, скорее, небесное тело), где присутствуют азотная атмосфера, вода и всяческие органические молекулы в огромных количествах, поневоле возникает вопрос: а нет ли там жизни, хотя бы в виде одноклеточных? Как известно из земной биологии, необходимым условием для

возникновения живой клетки является наличие воды в жидком состоянии. Она играет ключевую роль в строительстве клеточной мембраны и гораздо больше важна, чем наличие свободного кислорода. Анаэробные (безкислородные) формы жизни известны и на Земле, безводные — нет. «Следовать за водой» — вот принцип, который взят на вооружение теми, кто посвятил себя поиску обитаемых планет. При этом зона поиска ограничена очень узким температурным диапазоном, в котором вода может быть жидкой. На поверхности Титана царят запредельные морозы, и вода может там существовать только в виде льда. Но выяснилось, что жидкая вода в этом странном, с нашей точки зрения, мире всё же есть.

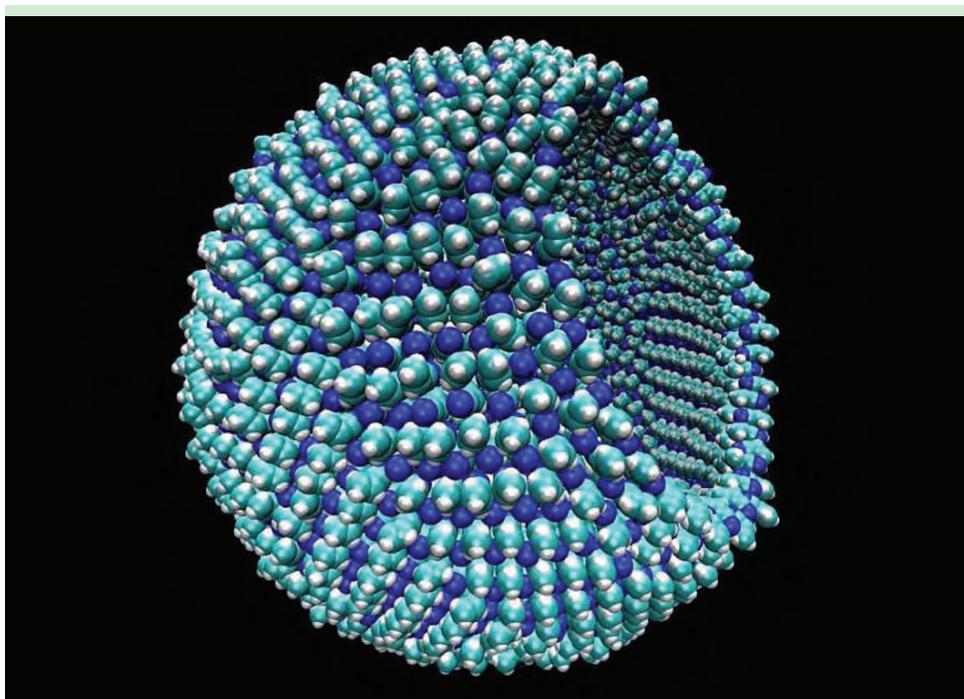
В апреле 2011 года группа астрофизиков под руководством Роз-Мари Балан (Rose-Marie Baland) из Королевской обсерватории в Брюсселе (Бельгия) пришла к выводу, что Титан движется по орбите не совсем так, как положено полностью твердому телу, и объявила миру о существовании огромного океана под его поверхностью. И, в отличие от поверхностных морей, этот океан, возможно и даже скорее всего, состоит именно из воды. Согласно современным представлениям, Титан имеет следующее строение: в самом центре находится гидросиликатное ядро, а снаружи спутник одет в толстую твердую кору, состоящую в значительной степени из водяного льда и покрытую слоем органики. Еще одна ледяная оболочка окружает ядро. Это сверхплотный лед, спрессованный высоким давлением. Между двумя корками льда находится слой жидкой воды — настоящая гидросфера. Искатели внеземной жизни связывают большие надежды с этим упрятым под лед океаном на Титане, но в последнее время ученые стали рассматривать и другие возможности.

Специалисты по молекулярной динамике под руководством Палетт Клэнси и Джеймса Стивенсона из Корнелльского университета и при участии Джонатана Лунина, члена миссии «Кассини-Гюйгенс», недавно создали теоретическую модель живой клетки, которая чувствовала бы себя на поверхности Титана как дома. Научная статья на эту тему была опубликована в феврале 2015 года в журнале *Science Advances*. Речь идет о некоей гипотетической форме жизни на основе метана, способной существовать не только без свободного кислорода, но и без жидкой воды. В результате работы была смоделирована клетка, способная выполнять основные присущие жизни функции — поддерживать метаболизм и делиться. При этом она состоит из азота, углерода и молекул водорода. Химическая конфигурация молекул при этом дала клетке гибкость и стабильность, как у клеток земных форм жизни. При моделировании использовали метод, который перебирает созданные на основе метана структуры на предмет

наилучшей способности к организации в похожую на мембрану пленку. Эта клеточная оболочка получила название азотосома. «Мы не принимали во внимание всякие предубеждения насчет того, какими должны или не должны быть мембраны. Мы всего лишь работали с теми структурами, о которых знали, что они там есть», — пояснила Палетт Клэнси, руководитель работы.

В принципе, гипотетические обитатели Титана могли бы использовать для поддержания своей жизнедеятельности  $\text{H}_2$  вместо  $\text{O}_2$ , ацетилен ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) вместо глюкозы ( $\text{C}_{6\text{H}_{12}\text{O}_6}$ ) и производить метан ( $\text{CH}_4$ ), а не углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ). Надо сказать, наблюдения за атмосферой Титана дают некоторые основания полагать, что некто подобный на крупнейшей луне Сатурна, возможно, проживает. Исследователи отмечают переизбыток водорода и ацетилена в верхних слоях атмосферы, в то время как у самой поверхности Титана наблюдается острый дефицит этих веществ. Как будто их там кто-то съедает. Хотя почему «как будто»? Может быть, так оно и есть?

Определенные странности происходят и с круговоротом метана на Титане. На первый взгляд дебет с кредитом сходится. Озера испаряются, над ними формируются пушистые оранжевые облака, которые проливаются дождем. Ручьи и реки несут жидкий метан назад в озера. Теоретические подсчеты вроде бы совпадают с реальной картиной, но только в краткосрочной перспективе. А в долгосрочном плане, если говорить о целых геологических эпохах, данные озера и моря никак не могут поддерживать имеющееся содержание метана в атмосфере. За жалкую пару-тройку миллионов лет они должны были испариться. Краткосрочная модель не учитывает тот факт, что в верхних слоях метан непрерывно разрушается под воздействием солнечного излучения. Это явление и порождает смог, делающий атмосферу Титана непрозрачной. Кроме того, слабое гравитационное поле спутника не может полностью помешать газу улетучиваться в космос.



Азотосома.

В общем, всё указывает на существование дополнительного неучтенного источника метана, который регулярно пополняет атмосферные запасы. Справедливости ради нужно сказать, что это не обязательно должны быть экзотические внеземные организмы, выделяющие метан как продукт жизнедеятельности. Более того, в качестве наиболее вероятных кандидатов на роль неучтенного источника метана чаще всего называют имеющиеся на Титане криовулканы. Высказывалась также гипотеза, что под поверхностью спутника есть большие запасы метанового льда. И всё же любой дисбаланс в газовом составе атмосферы — это, как говорилось в одном популярном старом фильме, «информация к размышлению».

\*\*\*

В обозримом будущем NASA и Европейское космическое агентство планируют и другие миссии по изучению системы Сатурна вообще и Титана в частности. Предполагается, что новый комплекс Titan Saturn System Mission (TSSM) будет включать в себя орбитальную станцию и два зонда. Один зонд представляет собой аэростат, предназначенный для изучения атмосферных явлений. По крайней мере один раз он облетит вокруг спутника примерно по 20° северной широты на высоте 10 км. Второй зонд должен будет приводниться в море Пунги примерно на 79° северной широты. Этот зонд станет первым плавучим аппаратом вне Земли. Срок его работы предположительно составит от 3 до 6 месяцев.

Изначально TSSM предполагали отправить в 2010 году, но в феврале 2009 года миссию решили отложить на неопределенный срок, отдав предпочтение

изучению спутников Юпитера. Досадная задержка, но, возможно, она сделает будущие исследования еще более интересными, ведь ученые-фанаты Титана не сидят сложа руки, а фонтанируют идеями. В настоящее время NASA разрабатывает проект подводной лодки для подробного изучения метановых морей.

Для доставки подводного судна хотят использовать специальный крылатый космический аппарат. Загормозив в атмосфере, он сбросит лодку в защитной капсуле над морем Кракена. Лодка весом примерно в 1 тонну будет работать на базе обычного электрического двигателя, модифицированного для использования в условиях Титана. Ей предстоит бороздить метановые волны в течение 90 дней и пройти около 2 000 км. Скорость предполагается небольшая — 3,6 км/ч. Однокиловаттный термогенератор Стирлинг обеспечит подлодку необходимой энергией для работы и уберезет использующуюся электронику от замерзания.

Конструкция и схема работы балластных баков пока являются открытым вопросом, поскольку плотность жидкости в морях Титана может существенно варьироваться количественным соотношением метана и этана в ее составе. Эта разница гораздо сложнее, чем разница соотношения пресной и соленой воды на Земле. Другая предполагаемая сложность — при погружении на значительные глубины азот в балластных баках может конденсироваться в жидкость, что приведет к неожиданной утере плавучести субмарины. Одним из решений данной проблемы может являться использование в резервуарах специальных гидравлических поршней, которые будут помогать заполнять и опустошать балластные баки, не полагаясь при этом на давление воздуха, как это происходит в обычных подлодках. Предлагается использовать на субмарине большой воздушный вертикальный руль, который, помимо прочего, будет являться огромной антенной для осуществления связи с Землей. Если проект состоится, мы, скорее всего, получим достаточно данных, чтобы понять, куда исчезают у поверхности Титана водород с ацетиленом и откуда там берется лишний метан, а также сможем прояснить многие другие процессы, происходящие в системе Сатурна.

HT

