

УДК 621.391.1

## ВОДА В СОВРЕМЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Я.А. Илюшин

### WATER IN SOLAR SYSTEM: ORIGIN AND CURRENT STATE

Ya.A. Pyushin

Вода является одним из важнейших и наиболее распространенных в природе веществ. Присутствие воды в Солнечной системе на всех стадиях ее формирования и развития начиная с зарождения небесных тел из протопланетного облака обусловило многие происходящие в ней явления. Обнаружение и исследование воды в различных фазовых состояниях, а также следов ее присутствия на небесных телах позволило сделать ряд важных выводов в области планетной геологии, климатологии, космогонии и т. д.

Типичным классом небесных тел со значительным содержанием воды в твердой фазе являются кометы. Мысль о присутствии водяного пара в видимых хвостах комет была высказана еще Ньютоном и Гуком. Справедливость этого утверждения была установлена позднее с развитием методов спектроскопических наблюдений.

Из пяти основных гипотез о происхождении комет в Солнечной системе (межзвездное происхождение комет, захват из облаков Оорта, рождение в метеорных потоках, аккреция частиц протопланетного облака и извержение масс планетарных недр) на сегодняшний день лишь две последних не противоречат имеющимся данным наблюдений. Изучение внутренней структуры кометных ядер позволило бы окончательно ответить на вопрос о способе их формирования. Так, в ходе космической миссии Deep Impact, предпринятой NASA в 2005 г., были проведены исследования взрывного выброса вещества с поверхности ядра кометы, подтвердившие преимущественное содержание водяного льда в его химическом составе.

Более глубокое изучение структуры недр кометного ядра планируется провести в рамках космической миссии Европейского Космического агентства ROSETTA, в состав которой входит эксперимент по радиопросвечиванию кометного ядра в УКВ-диапазоне. Регистрация группового времени задержки радиоимпульсов, транслируемых с орбитального космического аппарата на спускаемый и обратно, при их различных взаимных расположениях позволят восстановить внутреннюю структуру ядра кометы. Сближение с объектом исследования (комета Чурюмова–Герасименко) ожидается в 2014 г.

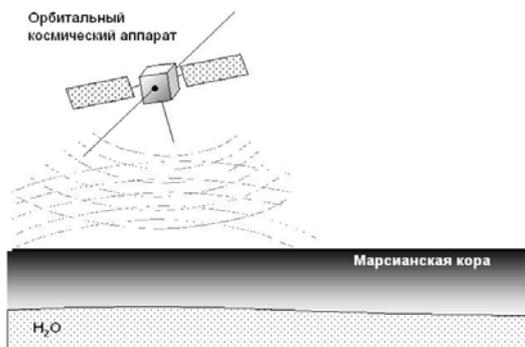
Кометы, обращающиеся вокруг Солнца по сильно вытянутым эллиптическим орбитам, доставляют воду во внутренние области Солнечной системы, где вследствие высокой температуры длительное нахождение жидкой или твердой воды невозможно. Так, космической миссией SOHO были зафиксированы отдельные случаи падения комет на Солнце и последовавшие за этим выбросы масс с его поверхности. Входящая в состав выброса вода могла быть

захвачена кратерами на холодных полюсах Меркурия, в воронках которых были обнаружены аномальные образования по данным наблюдений на радаре Аресибо.

Имеются многочисленные свидетельства присутствия воды в скрытых формах на Марсе. Об этом говорит большое количество следов геологической деятельности воды, обнаруженное на фотоснимках поверхности Марса высокого разрешения. Значительная часть кратеров на поверхности планеты окружена характерными «наплывами» грунта, свидетельствующими о его переходе в текучее состояние в результате удара метеорита. Кроме того, на многих участках марсианской поверхности присутствуют следы протекания потоков воды в прошлом. Наличие воды вблизи поверхности планеты предсказывается теоретическими моделями ее происхождения. По некоторым данным, в результате вулканической деятельности на поверхность Марса в разное время было выброшено количество воды, эквивалентное глобальному океану глубиной от 500 до 1000 м. Считается, что вся эта вода в настоящее время просочилась в толщу марсианской коры на глубины до нескольких километров и более.

Низкая температура поверхности планеты не допускает присутствия там чистой воды в жидкой фазе. Тем не менее, было показано, что некоторые тройные растворы растворимых в воде солей металлов характеризуются эвтектическими точками, лежащими ниже характерных марсианских температур, т. е. эти растворы способны сохраняться на поверхности планеты в жидкой фазе. Такие растворы были обнаружены космическими аппаратами-марсоходами Spirit и Opportunity.

Исследование современного распределения воды на Марсе позволит получить информацию, критическую для решения многих проблем космогонии, астрономии, планетной геологии и т. д. Так, слоистая структура марсианских полярных щитов несет в себе информацию об истории климата планеты за период, исчисляемый сотнями тысяч марсианских лет, что непосредственно связано с эволюцией элементов орбиты Марса. Кроме того, ряд осадочных образований на поверхности планеты интерпретируется некоторыми исследователями как останки ледяных щитов на древних полюсах планеты, что может служить свидетельством многократной переориентации собственной оси вращения Марса. Картирование современной марсианской вечной мерзлоты и глубинных обводненных горизонтов предоставляет важные сведения о тектонической истории планеты и особенностях формирования небесного тела



#### Глубинное радиозондирование недр планеты Марс.

из протопланетного облака. В настоящее время для этих целей разрабатывается и эксплуатируется ряд космических экспериментов по глубинному радиозондированию недр планеты (см. рисунок), таких как MARSIS и SHARAD.

Определенное место в современных научных представлениях занимают также гипотезы о возможном существовании жизни на других небесных телах Солнечной системы, для чего, как известно, необходимо наличие воды в жидкой фазе. Одними из наиболее вероятных мест присутствия жизни являются подледные озера, возможно, присутствующие под толщей льда на марсианских полюсах, а также подледный океан на спутнике Юпитера Европа. Эксперименты по глубинному радиозондированию Европы для определения толщины ее ледового покрова и внедрению зондов под поверхность льда интенсивно обсуждаются сейчас в мировой литературе для реализации в средне- и долгосрочной перспективе.

Наблюдаемая в Солнечной системе вода как в виде конденсированного состояния (лед), так и в жидкой ее фазе, а также следы ее геологической деятельности на планетах в прошлом являются важнейшими источниками информации, проливающими свет на многие ключевые проблемы современной науки о Солнечной системе, планетах, кометах и других небесных телах, их происхождении и строении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шульман Л.М. Ядра комет. М.: Наука, 1987. 232 с.
2. Clifford S.M., et al. The state and future of Mars polar science and exploration. *Icarus* 144. 2000. P. 210–242.
3. Ilyushin, Y.A., Hagfors T., Kunitsyn V.E. 2003. Cometary surface layer properties: Possible approaches to radio sounding retrieval during the CONSERT experiment—Numerical simulation and discussion // *Radio Science*. 38(1), 1008, 10.1029/2001RS002487.
4. Ilyushin Ya.A. Martian northern polar cap: layering and possible implications for radar sounding // *Planetary and Space Science*. 2004. V. 52, N 13. P. 1195–1207.
5. Ilyushin Ya.A., Seu R., Phillips R.J. Subsurface radar sounding of the Martian polar cap: radiative transfer approach. *Planetary and Space Science*. 2005. V. 53, N 14–15. P. 1427–1436, doi:10.1016/j.pss.2005.08.002.

Московский государственный университет,  
Москва, [ilyushin@phys.msu.ru](mailto:ilyushin@phys.msu.ru)