

УДК 523.43-834.5

Марс и гидрология

Д.Д. Асанидзе

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
asanidze.d.d@gmail.com

Аннотация. Современные технологии и развитие науки позволяют ученым изучать не только Землю, но и другие планеты. В статье дано представление о состоянии постоянно развивающегося научного знания о Марсе на сегодняшний день.

Ключевые слова: Марс, история изучения, поверхность, атмосфера, климат, ледники.

Mars and hydrology

D.D. Asanidze

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
asanidze.d.d@gmail.com

Abstract. Modern technologies and science's development allow us today study not only Earth but others planets. There is a representation of always changing and growing scientific knowledge about Mars we have today in the article.

Keywords: Mars, history of study, surface, atmosphere, climate, ice sheets.

Введение

Марс – загадочная планета, которая издавна манит и привлекает взгляды людей (Рис. 1). С давних времён ученых всего мира волновал вопрос: «Возможна ли жизнь на Марсе?». В древние времена величайшие астрономы Вавилона, Египта, Греции и Рима обнаружили принципиальное различие между планетами (в том числе и Марс) и «неподвижными звездами». Впервые в телескоп Марс был обнаружен в 1609 году Галилео Галилеем. А уже в 1666 году Джованни Кассини доказал, что периодичность обращения планеты составляет 24 часа 40 минут. В 1698 году Гюйгенс первым высказал предположение о возможности жизни на других планетах и представил необходимые для жизни условия. Это стало одной из первых в мире публикаций о внеземной жизни. Кроме того, особо пристальное внимание к Марсу научного сообщества и околonaучной публики возникло в XIX веке благодаря открытиями итальянского астронома и ученого Скиапарелли. Он первым смог обнаружить на поверхности этой планеты странные линейные структуры, представляющие собой одну большую сеть. Согласно разработанной им же номенклатурой названий космических объектов на поверхности Марса, Скиапарелли назвал их «каналами». А также отметил на планете сезонные изменения и периодические бури [10].

В XX веке, когда наступил новый этап освоения человеком космоса, началась и новая эпоха исследования тайн «красной планеты». В это время было запущено большое количество станций. Именно благодаря этим экспедициям учёным удалось получить первые данные о составе почвы и воздуха, погодных условиях планеты и прочее. Большой вклад в изучение Марса внесли американские космические станции: *Mariner*, *Vicing*, *Mars Global Surveyor*, *Mars Pathfinder*, *Mars Odyssey*, *Mars Express*, *Spirit*, *MAVEN* [1]. Отечественные космические корабли *Марс*, *Марс-2*, *Марс-3*, *Марс-4*,

Марс-5, *Фобос-1* и *Фобос-2* также внесли свой посильный вклад в изучение этой планеты [1]. В частности, *Марс-3* добыл сведения об атмосфере и ионосфере планеты, сделал уникальные в своем роде снимки поверхности.



Рис. 1 Марс.

Общие сведения о планете

Согласно современным данным [12], радиус Марса почти вдвое меньше радиуса Земли и составляет 3390 км, и в десять раз уступает массе Земли, поэтому ускорение свободного падения на Марсе составляет всего 3,7 Н/кг, т.е. 38% от Земли. Солнечные дни (период вращения планеты вокруг собственной оси) на Марсе почти соответствуют Земле, и длятся 24 часа 37 минут. Ось вращения планеты наклонена на 25 градусов к плоскости орбиты (23,5 градуса для Земли), что свидетельствует о том, что времена года схожи с изменениями нашей планеты. Период вращения Марса вокруг Солнца составляет 687 земных суток [9].

Таким образом, он имеет диаметр примерно 6780 км, что вдвое меньше земного и почти вдвое больше лунного. В результате своего вращения планета слегка сплюснута на полюсах, и фактически её диаметр составляет 6794 км на экваторе и 6752 км на полюсах. Средняя плотность планеты составляет 3,9 г/см³, что ниже плотности Земли (5,5 г / см³). Кроме того, на Марсе не было обнаружено магнитного поля, из чего следует, что ядро планеты находится в твердом состоянии.

В Вашингтонской обсерватории 11 и 17 августа 1877 года были обнаружены два небольших спутника Марса. Американский астроном Асаф Холл (1829-1907), обнаруживший спутники, дал им названия Фобос и Демос. Фобос вращается вокруг планеты на расстоянии всего в 1,4 её диаметра (9350 км), делая один оборот за 7,6 часа. А второй, Деймос — на расстоянии в 3,4 диаметра (23500 км), облетая вокруг Марса за 30,2 часа. Оба спутника имеют неправильную форму и постоянно обращены к нему с одной и той же стороны. Гравитационные поля спутников настолько слабы, что у них нет собственной атмосферы [4].

Климатические особенности и атмосфера Марса

Прежде всего следует отметить, что давление на поверхности планеты в 160 раз ниже давления земной атмосферы (0,7%), и составляет 5-7 гПа. Конечно же, биологическая жизнь не может существовать в такой редкой и неблагоприятной атмосфере. Разреженная марсианская атмосфера содержит 95,3% углекислого газа, 2,7% молекулярного азота и 1,6% аргона, СО (0,06%) и Н₂О (до 0,1% и значительно варьируется в зависимости от сезона). Кислород присутствует только в виде следов.

Выяснено, что на Марсе можно наблюдать различные формы облаков и тумана. В ранние утренние часы туман сгущается в долинах, и когда ветры поднимают

охлаждающиеся воздушные массы на возвышенные плато, облака также появляются над самыми высокими горами. Зимой Северный полюс покрыт завесой ледяного тумана и пыли, которая называется «полярным капюшоном». Подобное явление можно наблюдать несколько реже на юге. Полярные области покрыты слоем льда, который, как полагают планетологи, представляет собой смесь водяного льда и твердого углекислого газа. Кроме того, здесь располагается слабый озоновый слой на высоте 36–40 км и толщиной 7 км, что в 250 раз слабее земного. Из-за ослабления атмосферы планета не может накапливать тепло от солнца, в результате чего температура достигает 25°C в летний день и понижается до -90°C ночью (до -135°C в полярных регионах). Среднегодовая температура на Марсе составляет около -60°C. Первые измерения температуры Марса с помощью термометра в фокусе отражателя телескопа были проведены в начале 1920-х годов. В 1956 г. была получена средняя температура поверхности, которая составила 218°K [6]. Измерения, проведённые на космическом корабле *MAVEN* в последние годы, показали, что даже более низкие температуры могут достигать 140°K – ниже точки замерзания углекислого газа. Разница в дневных и ночных температурах, в полярных и тропических регионах, зимой и летом приводит к появлению ветров, которые иногда достигают скоростей от 40 до 50 м/с [7].

Информация о температуре, полученная в результате наблюдений, стала ключом к пониманию природы полярных шапок, которые, наблюдаемые с помощью телескопа, видны в виде ярких, почти белых пятен вблизи полюсов планеты. Когда в северном полушарии Марса наступает лето, северная полярная шапка быстро уменьшается, но в это время растёт еще одна – около Южного полюса, где наступает зима. В конце XIX – начале XX века, ученые полагали, что полярные шапки Марса были ледниками и снегом. Согласно современным данным, обе полярные шапки – северная (Рис. 2) и южная (Рис. 3) – состоят из водяного льда с примесью минеральной пыли и твердого углекислого газа, то есть сухого льда, который образуется при замерзании углекислого газа, который является частью атмосферы Марса [12].

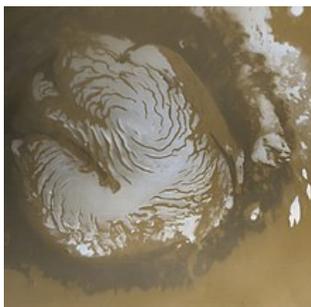


Рис. 2 Северная полярная шапка Марса (снимок Mars Global Surveyor, 13 марта 1999 года).

Поверхность Марса

Американские ученые К. Саган и Д. Уоллес выдвинули интересную гипотезу. Согласно их расчётам, подземные озера и даже реки могут существовать под слоем вечной мерзлоты на Марсе. Среди образований, обнаруженных на его поверхности, особое внимание уделяется каналам в форме извилистых долин. Их появление и присутствие «притоков» вряд ли можно объяснить, кроме как предположением, что они являются руслами рек. Тем не менее, реки не могут течь на Марсе в настоящий момент. Причина заключается в том, что при низких давлениях, преобладающих на Марсе, вода

кипит при очень низких температурах. При этом никакая другая жидкость не может образовывать наблюдаемые каналы.

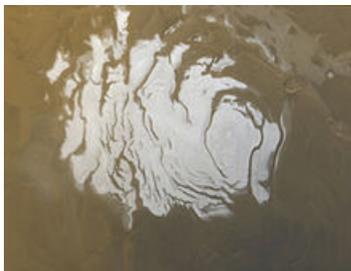


Рис. 3 Южная полярная шапка Марса (снимок Mars Global Surveyor, 27 апреля 2000 года).

Таким образом, единственное возможное объяснение меандров на Марсе – это формирование потоков воды, рек. Теперь для него нет необходимых условий, значит, они были в прошлом. Для этого необходимо предположить, что в прежние времена атмосферное давление на Марсе было значительно выше, чем в настоящее время.

Почему Марс красный? Марсианская почва состоит из оксидов и гидроксидов железа, смешанных с железистыми глинами и сульфатами кальция и магния. Такая серия минералов характерна для корок красных атмосферных агентов, широко распространенных на Земле, которые возникают в условиях жаркого климата, обилия воды и свободного кислорода в атмосфере. «Ржавчина» на поверхности планеты – самое редкое явление в Солнечной системе; это присуще только лишь Марсу и Земле. Фактически, для окисления железа в глубоких породах вместе с водой прежде всего необходима атмосфера, содержащая кислород. Сейчас в атмосфере Марса только 0,1% свободного кислорода, для его превращения в красную планету, текущего количества кислорода явно недостаточно; поэтому «ржавчина» появилась здесь гораздо раньше. Для его образования требовалось огромное количество воды и кислорода. Развитая речная сеть указывает на обилие воды (льда).

Полярные шапки Марса

Сотрудники Калифорнийского технологического института (университета) изучили снимки, сделанные аппаратом *Mars Odyssey*, и обнаружили, что как северная, так и южная полярные шапки Марса состоят в основном из водяного льда, а не замороженного углекислого газа. Замороженный угарный газ (CO) также присутствует, но из него состоит лишь относительно тонкий верхний слой ледяного покрова полярных областей Марса. Восемиметровый слой замороженного углекислого газа на поверхности южной полярной шапки Марса означает, что на красной планете гораздо меньше углекислого газа, чем на Земле и Венере. Но там много воды, поэтому, согласно NASA, астронавты, которые могут прибыть в будущем на Марс, не будут испытывать недостатка влаги [11].

Полярные шапки – это прежде всего белые пятна на поверхности шара, как в прямом, так и в переносном смысле слова. Это очень заметные детали даже с Земли, меняющие свои очертания в зависимости от времени года на Марсе. Они расширяются, а затем почти исчезают. Когда зима приходит на смену осени, в одном полушарии планеты начинает расти соответствующая шапка, в другом полушарии наступает лето, и там происходит противоположный процесс. Более того, в южном полушарии зимой холоднее, а летом теплее, чем в северном. С наступлением весны полярная шапка начинает

уменьшаться, и к концу марсианского июля она почти исчезает на южном полюсе, тогда как северная шапка намного больше. Эта картина повторяется из года в год.

Интерес представляет гипотетическая возможность существования талой воды под полярными шапками, по аналогии с тем, что имеет место в Антарктиде. Донное таяние может обусловлено тепловым потоком из недр Марса, и может быть оценена по моделям, в частности И.А. Зотикова [2], адаптированной для условий этой планеты. Если это так, если донное таяние возможно, то, вероятно, под марсианским ледником имеются своего рода «реки» и «озёра», которые появились в результате заполнения талой водой отрицательных форм рельефа, аналогично сходным объектам в Антарктиде [3].

В 1965 году американская станция *Mariner-4* прислала первую серию фотографий Марса. Эта миссия показала, что Марс представляет собой однообразную планету с кратерами, похожую на Луну. Двести марсианских фотографий, присланных *Маринером-6* и *Маринером-7* в 1969 году, подтвердили эти данные. Многие ученые высказали предположение, что, если Марс геологически мертв, то и биологически он безжизнен.

Нетаяющие, остаточные части шапок произведены из мощных слоистых отложений. На сделанных издалека снимках, они выглядят как вихреобразные образования, которые на более детальных фотографиях превращаются в систему уступов, террас и депрессий.

Отложения, образующие остаточные полярные шапки планеты, представляют собой слои льда, смешанные с мелкозернистым материалом. Судя по температурному режиму полярных областей, лед H_2O играет главную роль в создании остаточных («вечных») полярных шапок, поэтому предполагается, что полярные образования Марса являются резервуаром значительных запасов водяного льда. В этом случае полярные шапки Марса состоят из двух слоев. Нижний основной слой толщиной в сотни метров создает обычный водяной лед, смешанный с пылью, который также остается летом [5].

Марсианские северные и южные «полярные шапки» на больших площадях покрыты слоистыми отложениями. С момента своего открытия в начале 1970-х годов эти полярные отложения выступают доказательством того, что климат на планете циклически меняется. Предполагается, что детальное изучение биполярных слоев позволит выявить климатическую историю Марса так же, как столбцы антарктического льда помогут раскрыть историю земного климата. Большое количество слоев отложений является важным фактом, который дает надежду, что будущие исследования полярных отложений с помощью десантных транспортных средств и, возможно, людей, в конечном счете, прояснят историю марсианского климата, записанного в них.

Считается, что главная мечта Илона Маска фактически обречена на провал. Маловероятно, что Марс можно превратить в аналог Земли, сделав атмосферу более густой и теплой, растопив его полярные ледовые шапки. Об этом пишут планетологи в статье, опубликованной в журнале *Nature Astronomy* [8]. По словам руководителя миссии MAVEN, *Брюса Якоски (Bruce Jakosky)*, из университета Колорадо в Боулдере (США), новые замеры с MAVEN и прежние данные с зондов NASA показывают, что на Марсе просто нет достаточного количества углекислоты для того, чтобы создать парниковый эффект, который бы сделал его достаточно теплым для комфортного существования земной жизни. Тераформирование Марса невозможно осуществить при помощи современных технологий. В сентябре 2016 года Илон Маск, глава корпорации SpaceX, рассказал миру о своих амбициозных планах колонизации Марса. Он планирует создать чрезвычайно тяжелую ракету и флот из тысяч космических

кораблей многоразового использования, которые к концу столетия предоставят Марсу миллион человек. Основная цель всего процесса заключается в создании независимого города-миллионера на «красной планете», который обеспечит себя всем необходимым для жизни и станет полноценным обществом, которое не будет уступать обществу людей на Земле. По словам предпринимателя, одной из главных целей существования колонии станет реализация ее планов по терраформированию красной планеты и превращению ее в аналог Земли. Для этого необходимо, как сказал Маск, в начале этого десятилетия, растопить полярные шапки Марса ядерными ударами, которые создадут более плотную атмосферу и обеспечат колонистам первоначальное водоснабжение.

Благодарности

Автор выражает благодарность своему научному руководителю *С.В. Попову* за помощь и рекомендации при подготовке настоящей работы.

Acknowledgments

The author thanks supervisor of studies *S.V. Popov* for assistance and recommendations in preparing this work.

Список литературы

1. Грачев Д.Г. История исследования марса с помощью автоматических космических аппаратов // Сб. тр. Междунар. молод. науч. конф. «XIV Королевские чтения». Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2017., С. 389–391.
2. Зотиков И.А. Тепловой режим ледника Центральной Антарктиды. // В кн: Антарктика. Доклады комиссии 1961. М.: Изд-во АН СССР, 1962, С. 27–40.
3. Попов С.В. Мир, скованный льдом // Вестник РФФИ, 2017, №4 (96), С. 78–89, doi: 10.22204/2410-4639-2017-096-04-78-89
4. Bierson C.J., Phillips R.J., Smith I.B., Wood S.E., Putzig N.E., Nunes D., Byrne S. Stratigraphy and evolution of the buried CO₂ deposit in the Martian south polar cap // *Geophys. Res. Lett.*, 2016, No 43, P. 4172–4179, doi: 10.1002/2016GL068457.
5. Clifford S.M., Crisp D., Fisher D.A., Herkenhoff K.E., Smrekar S.E., Thomas P.C., Zwally H.J. The state and future of Mars Polar Science and Exploration // *Icarus*, 2000, V. 144, No 2, 210–242, doi: 10.1006/icar.1999.6290.
6. De Vaucouleurs G. Photographic Observations in 1956 of the Blue Clearing on Mars // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific.*, 1957, V. 69, No 411, P. 530–532, doi: 10.1086/127140.
7. Gierasch P., Goody R. A study of the thermal and dynamical structure of the martian lower atmosphere // *Planetary and Space Science, Planetary and Space Science*, 1968, V. 16, No 5, 1968, P. 615–646, doi: 10.1016/0032-0633(68)90102-5.
8. Jakosky B.M., Edwards C.S. Inventory of CO₂ available for terraforming Mars // *Nat Astron.*, 2018, V. 2, P. 634–639, doi: 10.1038/s41550-018-0529-6.
9. Mars Facts <https://mars.jpl.nasa.gov/all-about-mars/facts/> Дата обращения: 5 February 2020.
10. McKay C.P., Toon O.B., Kasting J.F. Making Mars habitable // *Nature*, 1991, V. 352, P. 489–496, doi: 10.1038/352489a0
11. NASA's Treasure Map for Water Ice on Mars <https://mars.jpl.nasa.gov/news/8568/nasas-treasure-map-for-water-ice-on-mars/> Дата обращения: 5 February 2020.
12. Ramirez R.M., Kopparapu R., Zuger M.E., Robinson T.D., Freedman R., Kasting J.F. Warming early Mars with CO₂ and H₂ // *Nature Geoscience*, 2014, V. 7, P. 59–63, doi: 10.1038/ngeo2000.