

ISSN 1607–2855

Том 2 • № 1 • 2001 С. 17 – 20

УДК 523.4

## О классификации планет Солнечной системы

Ю.В. Александров, Н.Н. Евсюков

Харьковский национальный университет

Проведена классификация планетных тел Солнечной системы по пяти критериям – динамическому (тип орбиты), традиционному астрономическому, физическому (агрегатное состояние), химическому (преобладающий химический состав) и геологическому (тип геологии литосферы).

ПРО КЛАСИФІКАЦІЮ ПЛАНЕТ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ, Александров Ю.В., Євсюков Н.Н. Проведена класифікація планетних тіл Сонячної системи за п'ятьма критеріями – динамічному (тип орбіти), традиційному астрономічному, фізичному (агрегатний стан), хімічному (переважаючий хімічний склад) та геологічному (тип геології літосфери).

ON SOLAR PLANETS CLASSIFICATION, by Aleksandrov Yu.V., Evsyukov N.N. – Planetary bodies of the Solar system were classified using five criteria: dynamical – an orbit type, traditional astronomical, physical – an aggregative state, chemical – a predominate composition and geological – a type of lithosphere geology.

За последние десятилетия благодаря развитию наземных наблюдательных и теоретических методов, а главное, исследованиям планет средствами ракетно-космической техники объем знаний о планетах Солнечной системы резко возрос и количественно и качественно. Стало возможным сформулировать понятие о планетах, как определенном классе космических тел, состоящих из вещества в конденсированной фазе и у которых форма, внутреннее строение и эволюция определяются их собственным гравитационным полем [1, 3, 5]. Сформировалось представление об основных химических компонентах, из которых состоят планетные тела – металлической, силикатной, ледяной и газовой (водородно-гелиевой) группах веществ (по степени их летучести), которые способны в процессе гравитационной дифференциации обособляться и формировать отдельные планетные оболочки. Построены модели внутреннего строения этих тел и получены общие представления о геологии их поверхностей. Одной из форм обобщения всей этой информации может быть многопараметрическая классификация планет, вариант которой и предлагается ниже.

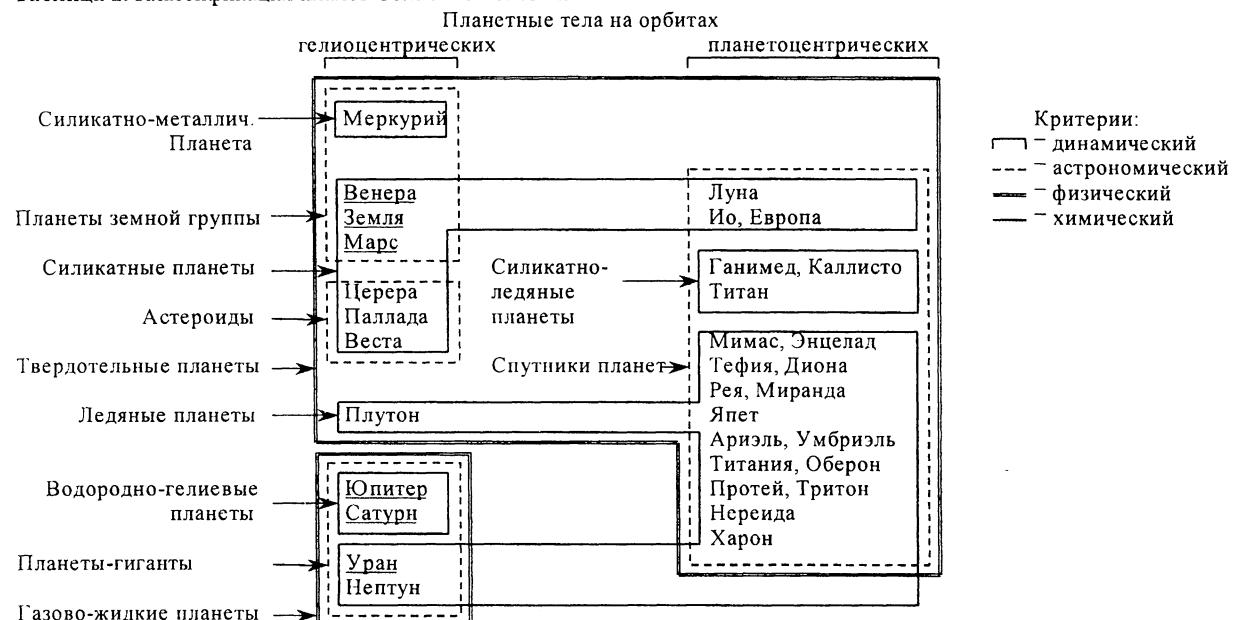
В Солнечной системе имеется 33 тела, отвечающих приведенному выше понятию «планета». Это – девять больших планет, три крупнейших астероида и 21 спутник больших планет (Луна, Харон, 4 спутника Юпитера, 7 – Сатурна, 5 – Урана и 3 – Нептуна). Прежде всего, все эти тела планетного типа делятся на две группы по типу орбитального движения – гелиоцентрическое и планетоцентрическое. Назовем этот критерий динамическим. В то же время традиционно в астрономии их относят к одному из четырех классов тел – планетам земной группы, планетам-гигантам, астероидам и спутникам планет. По агрегатному состоянию основной массы вещества планеты делятся на твердые и газово-жидкие (физический признак). Хотя в первом случае, и не только на Земле, есть и жидкие оболочки.

Химический состав планет весьма сложен. Строго говоря, все они содержат все четыре упомянутых выше химических компоненты. Однако в большинстве случаев какая-либо одна является преобладающей, хотя есть случаи, когда соотношение между двумя компонентами более или менее сопоставимо. Будем считать, что это так, если доля массы каждой из этих компонент превышает одну треть (такие широкие

Таблица 1. Принципы классификации планет Солнечной системы

Критерии классификации	Динамический	Астрономический	Физический	Химический	Геологический
Классы планетных тел	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гелиоцентрические орбиты</li> <li>• планетоцентрические орбиты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• планеты земного типа</li> <li>• планеты-гиганты</li> <li>• астероиды</li> <li>• спутники</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• твердотельные планеты</li> <li>• газово-жидкие планеты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• силикатно-металлические</li> <li>• силикатные</li> <li>• силикатно-ледяные</li> <li>• водородно-гелиевые</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• силикатные</li> <li>• гидро-силикатные</li> <li>• ледяные</li> </ul>

Таблица 2. Классификация планет Солнечной системы



пределы разумны с точки зрения имеющейся еще неопределенности в наших знаниях о химсоставе планет). Тогда де-факто выделяются следующие классы в классификации планет по химическому критерию – силикатно-металлический, силикатный, силикатно-ледяной и водородно-гелиевый. С точки зрения процессов, определяющих геолого-морфологический облик планет, планеты с твердой поверхностью делятся на силикатные и ледяные. Однако Земля с ее уникально богатой минералогией (обусловленной наличием гидросферы) и специфической геологией (глобальная тектоника плит) позволяет ввести в геологическую классификацию еще один класс – гидро-силикатный. Выше приведенные соображения о принципах классификации планет суммируются в табл.1. А результаты применения этих принципов к выше перечисленным планетным телам Солнечной системы представлены в табл.2. Основанием для выделения Меркурия, с одной стороны, и Ио, Европы и Титана, с другой, в соответствующие смешанные химические классы являются модели их внутреннего строения [2, 4]. В табл.2 не отражена геологическая классификация, потому что она, естественно, близка к химической. Отличия состоят лишь в том, что Меркурий принадлежит к планетам с силикатной геологией, а Европа – к планетам с ледяной геологией, и, наконец, Земля выделяется в отдельный (гидро-силикатный) класс.

На рис.1. показана зависимость «масса – радиус» для планет Солнечной системы (в единицах массы и радиуса Земли), а на рис.2 – зависимость «средняя плотность вещества  $\rho$  – средняя плотность гравитационной энергии  $\epsilon$ ». Величина  $\epsilon$  дана на рис.2 волях ее значения для Земли. Значение величины  $\epsilon$ , как это следует из соображений размерности, пропорционально квадрату массы планет  $M$  и обратно пропорционально четвертой степени ее радиуса  $R$ . Коэффициент пропорциональности определяется распределением давления внутри планеты, так как полная потенциальная энергия вещества планеты равна

$$\Pi = 12\pi \int_0^R p(r)r^2 dr.$$

Однако вследствие того, что подынтегральная функция обращается в 0 на обоих концах промежутка интегрирования, зависимость эта весьма слабая. Так вычисления показывают, что отношения величин  $\Pi$  для однородной планеты и планет с распределениями давления, соответствующими моделям внутреннего строения Земли и Юпитера, соотносятся как 1:1.05:1.25. Таким образом, при вычислении средней плотности потенциальной энергии в первом приближении для твердотельных планет коэффициент пропорциональности можно считать одинаковым, а для планет-гигантов увеличить его на 20%.

Рис.1 показывает, что все твердые планетные тела образуют единую популяцию со степенной зависимостью массы от радиуса (показатель ее равен 3,5). Для газово-жидких планет (в единицах массы и радиуса Юпитера) аналогичный показатель несколько меньше и равен  $\approx 3$ . На рис.2 достаточно четко видны кластеры силикатных и твердых ледяных планет. Видно и отличие Меркурия от силикатных планет. Ледяные (но жидкие в основном) Уран и Нептун имеют в силу значительно большей массы и гораздо большие значения  $\epsilon$ , но примерно те же плотности вещества, что и твердые ледяные тела, вероятно относительно значительная доля их гравитационной энергии ушла на плавление вещества, а не на его сжатие. Отличие астероидов от остальных силикатных тел связано, по-видимому, как с неопределенностью в значениях их характеристик, особенно масс [6,7], так и с таксономическими особенностями Цереры и Паллады, которые сохранили часть летучей компоненты, в частности, воды в виде гидросиликатов.

Принадлежность планетного тела к определенному физическому и химическому классам есть следствие двух основных факторов – во-первых, химической дифференциации вещества в протопланетном облаке под действием солнечного сверхветра на стадии типа Т Тельца и нагрева этого вещества солнечным излучением и, во-вторых, последующей потери планетой на начальном этапе ее эволюции тех или иных компонент вещества в зависимости от ее массы и расстояния от Солнца (см. подробнее [3]). В частности, потеря близким к Солнцу Меркурием не только газовой и летучей компонент, но и части силикатной, привела к преобладанию (хотя и не очень большому) в его составе железа. Система

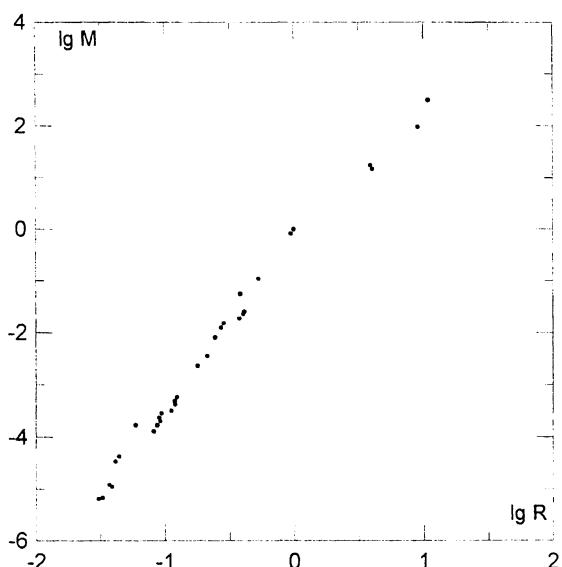


Рис.1. Зависимость массы от радиуса для планетных тел (в долях радиуса и массы Земли)

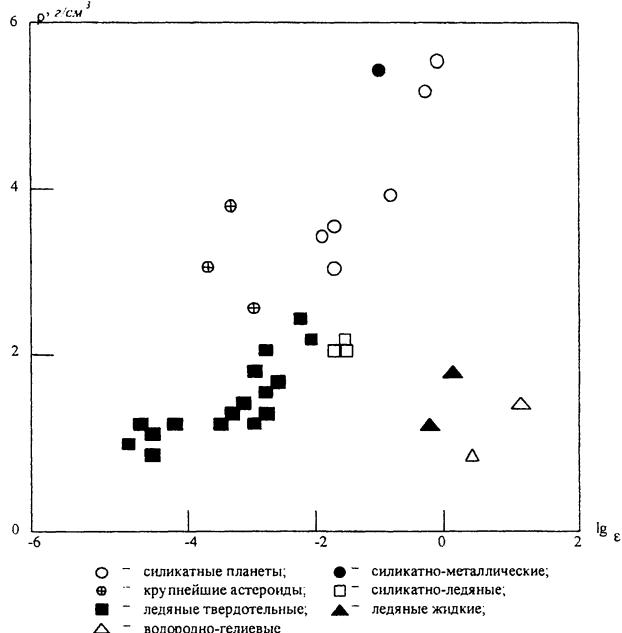


Рис.2. Зависимость «средняя плотность вещества – средняя плотность гравитационной энергии»

спутников Юпитера демонстрирует влияние на судьбу планетного тела, являющегося спутником более крупной планеты, также и расстояния до этой планеты. Ближайший из галилеевых спутников Юпитера – Ио потерял практически всю ледяную компоненту, а большое количество приливного тепла сделали его самым активным в вулканическом отношении телом Солнечной системы в современную эпоху со специфической ролью серы и ее соединений. Европа сохранила лишь тонкую ледяную кору. А более далекие от Юпитера Ганимед и Каллисто попали уже в класс силикатно-ледяных тел.

Земля своей уникальностью обязана тому, что она попала в весьма узкий коридор расстояний от Солнца, в котором оказалось возможным длительное существование жидкой воды на поверхности планеты. Наличие гидросферы не только само по себе привело к весьма развитой минералогии и петрологии ее литосферы (более 2000 минералов обнаружено на Земле и пока лишь около 100 – на Луне), но и явилось необходимым условием возникновения качественно новых факторов в эволюции Земли – появлению биосферы и окислительной атмосферы. Все это и делает целесообразным выделение Земли в отдельный геологический класс. А возникновение на основе биосферы разумной жизни (социосферы) с ее постоянно возрастающим техногенным давлением на различные оболочки планетарного чехла Земли подводит нашу планету к новому качественному скачку в ее истории. Эволюция планет, как и других классов космических объектов, является определенным образом направленной, причем эта направленность обусловлена, с одной стороны, общими законами природы (прежде всего физики), с другой, спецификой данного класса объектов (прежде всего их массой). Развитие же земной цивилизации вплотную подходит к тому рубежу, когда направленное развитие (по крайней мере, человечества и планетарного чехла Земли, как среди его обитания) должно смениться направляемым развитием – направляемым разумом, познавшим законы эволюции различных форм движения материи в их взаимодействии. На планете Земля, как условие ее дальнейшего некатастрофического развития, должна возникнуть ноосфера.

Планеты обладают большим разнообразием их физико-химических характеристик. Предложенная выше их многомерная классификация призвана способствовать выявлению закономерностей в этом разнообразии, что важно как для дальнейшего изучения планет Солнечной системы, так и внебольших планет, объем информации о которых в последнее время быстро возрастает.

1. Александров Ю.В., Захожай В.А. Что такое планеты. – Астрон. вестник. – 1980. – 14, №3. – С. 129–132.
2. Бернс Дж. Некоторые основные данные о спутниках // Система Сатурна / Пер. под ред. М.Я.Марова и В.Н.Жаркова. – М.: Мир, 1990. – С.296–325.
3. Евсюков Н.Н. Особенности геологии планет разного состава. – Космическая наука и технология. – 1997. – 3, №1–2. – С.43–60.
4. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. – М.: Наука, 1983. – 415 с.
5. Слюта В.Н. Воронаев С.А. Малые планетные тела. – Астрон. вестн. – 1993. – 27, №1. – С.71–82.
6. Tedesco E. Asteroid albedo and diameters. – Asteroids. Comets. Meteors. – 1993. – P.55–73.
7. Thomas P., Binzel R., Gaffey M., et al. Vesta: Spin Pole, Size and Shape from HST Imaged. – Icarus. – 1997.–108, №1.– P.88–94.

Поступила в редакцию 15.09.2001