

СТРОЕНИЕ ВОДНО-ЛЕДЯНОЙ ОБОЛОЧКИ КАЛЛИСТО

В.А.Кронрод, О.Л.Кусков

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН
kuskov@geokhi.ru

Каллисто-один из четырех галилеевых спутников Юпитера, наиболее удаленный от центрального тела (1.9 млн. км или 26.4 $R_{Ю}$ от Юпитера) и наименее изученный в геолого-геофизическом отношении. Во время пролетов “Галилео” вблизи Каллисто были зарегистрированы возмущения магнитного поля [1]. При отсутствии жидкого Fe-S ядра это допускает предположение о существовании под твердой ледяной оболочкой из льда-I жидкого водного слоя (водного раствора электролитов) или океана (рис. 1). Определение мощности водно-ледяной оболочки Каллисто, ее агрегатного состояния и фазового состава (вода, льды высокого давления) представляет особый интерес и составляет основную задачу данной работы.

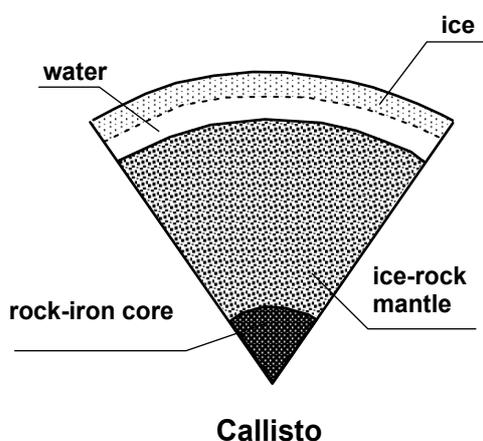


Рис. 1. Внутреннее строение Каллисто

Данные КА “Галилео” о массе, средней плотности и моменте инерции спутника [2], наряду с термодинамическими данными по уравнениям состояния воды, льдов высокого давления и метеоритного вещества (силикатов/гидросиликатов и Fe-FeS сплава), использованы в качестве геохимико-геофизических ограничений для определения мощности и агрегатного состояния водно-ледяной оболочки [3]. Принципиально важный для геологии ледяных спутников вопрос о наличии в прошлом или настоящем внутреннего слоя воды на протяжении многих лет остается предметом острой дискуссии. По оценкам [4] в ледяных спутниках с размерами Каллисто океан сейчас отсутствует, так как интенсивный конвективный теплоперенос во льду с ньютоновской реологией должен привести к промерзанию всего слоя воды за $\sim 3.5 \cdot 10^9$ лет. Поэтому авторы полагают, что сохранение внутреннего океана возможно либо при наличии растворенных в воде летучих (NH_3 и др.) либо за счет дополнительных источников энергии, например, приливной.

В данной работе проведено определение мощности водно-ледяной оболочки Каллисто и ее агрегатного состояния в предположении неньютоновской реологии льда, что приводит только к кондуктивному теплопереносу и возможности существования водного океана под слоем льда [5].

Максимальная мощность водно-ледяной оболочки определена в 270-315 км, табл.1. Поля устойчивости жидкой и твердых фаз зависят от теплового потока с поверхности спутника, определяемого из решения уравнения теплопроводности, и фазовой диаграммы H_2O . Для теплового потока $F=3.3-3.7$ мВт/м² (рис. 2) расчеты приводят к выводу об устойчивости жидкой фазы под ледяной корой. Мощность коры из льда-I составляет $\sim 135-150$ км, а мощность водного слоя, подстилающего кору, $\sim 120-180$ км. Большая мощность океана соответствует меньшей мощности ледяной коры.

Таблица 1.

Мощность ледяной оболочки Каллисто

$\rho_{\text{Fe-Si}}$, Г/см ³	$H_{\text{ice-l}}$, км	H_{water} , км	$H_{\text{tot}} = H_{\text{ice-l}} + H_{\text{water}}$, км
3.15	135-150	120-180	270-315
3.62	135-150	120-165	270-300

H_{ice} - толщина ледяной оболочки, H_{water} - мощность водного океана, H_{tot} - общая мощность водно-ледяной оболочки, $\rho_{\text{Fe-Si}}$ - плотность железокремниевой компоненты мантии Каллисто.

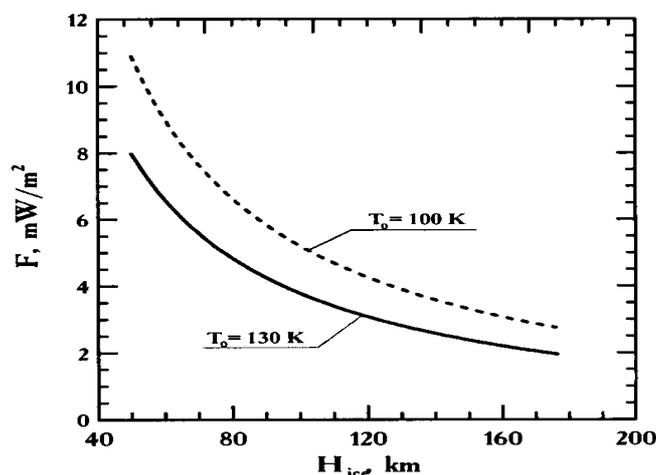


Рис.2.

Рис.2. Тепловой поток F в зависимости от толщины ледяной оболочки Каллисто (H_{ice}) и двух величин температуры поверхности T_0 .

Температура на поверхности Каллисто оценена равной 100-112 К. Мощная и жесткая ледяная оболочка, препятствующая затоплению поверхности водой, согласуется с отсутствием тектонической деятельности на Каллисто. Конвективные движения больших масс воды (вероятно, проводящего слоя водного раствора электролитов) могут приводить к возмущениям магнитного поля в окрестности спутника [1], зарегистрированным КА "Галилео".

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 03-05-64413)

Литература

1. Zimmer C. et al., Subsurface oceans on Europa and Callisto. Icarus. 2000, 147. P.329-347.
2. Anderson J.D. et al., Shape, mean radius, gravity field, and interior structure of Callisto. Icarus, 2001. V. 153. P.157-157.
3. Kronrod V.A. and Kuskov O.L. Chemical differentiation of the Galilean satellites of Jupiter: 1. An internal structure of Callisto's water-ice shell. Geokhimiya, 2003, № 9.
4. Reynolds R.T., Cassen P.M. On the internal structure of the major satellites of the outer Planets. Geophys. Res. Lett. 1979, 6. P.121-124.
5. Ruiz J. The stability against freezing of an internal liquid-water ocean in Callisto. Nature, 2001, 412. P.409-411.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(21) 2003

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2003 года (ЕСЭМПГ-2003)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dggms/1-2003/informbul-1/planet-7.pdf

Опубликовано 15 июля 2003 г.

© Отделение наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2003

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на "Вестник Отделения наук о Земле РАН" обязательна