

СРАВНЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЛУНЫ И ЗЕМЛИ

Л. Л. ВАНЬЯН, Е. Г. ЕРОШЕНКО, В. Н. ЛУГОВЕНКО,
Б. А. ОКУЛЕССКИЙ, А. Г. ПОПОВ, и А. Л. ХАРИТОНОВ

Советский геофизический комитет, Москва 117296

(Received 14 July, 1976)

Аннотация. В данной работе проводится сравнительный анализ аномального магнитного поля Луны, полученного в результате съемки на высоте 100 км, осуществленной с помощью субсателлита Аполлона-15, с аномальным магнитным полем Земли, полученным по данным разновысотных съемок (до 500 км над земной поверхностью). Проведен спектральный анализ указанных аномальных магнитных полей, в результате которого показано, что основное различие спектров аномальных магнитных полей заключается в пониженной интенсивности длиннопериодных лунных аномалий и повышенной скорости их затухания с высотой, что связывается с отсутствием в лунных породах индуктивной намагниченности.

Экспериментальное изучение магнитного поля Луны в ее экваториальной области в 1969–1973 гг. [1] дает возможность сделать ряд выводов о природе этого поля, а также сравнить его с геомагнитным полем.

На рис. 1 представлены графики радиальной составляющей магнитного поля Луны (кривая I) и полной напряженности геомагнитного поля (кривая II). Первый график показывает результаты съемки лунного магнитного поля на высоте 100 км по данным субсателлита Аполлона-15 [1], а второй – результаты аэромагнитной съемки модуля геомагнитного поля на высоте 300–500 км над земной поверхностью вдоль широтного профиля по 59° с.ш. на территории СССР [2].

При сравнении обоих графиков выявляется наиболее существенное отличие магнитных полей обеих планет, которое состоит в отсутствии на Луне главного магнитного поля, на фоне которого проявляется аномальное магнитное поле Земли. Это подтверждает вывод о практическом отсутствии дипольного поля нашего спутника [1]. Отсюда следует, что данные субсателлита отражают, в основном, аномальное магнитное поле Луны и поэтому целесообразно проводить его анализ путем сравнения этого поля с аномальным магнитным полем (АМП) Земли.

Известно, что наиболее удобным способом выяснения общих свойств АМП является оценка статистических характеристик аномального поля. Для представленного на рис. 1 графика поля Луны были вычислены автокорреляционная функция (R) и энергетический спектр (G), которые показаны на рис. 2. Выборка исходных данных проводилась через 28 км. Так как аномалия в районе кратера Ван-де-Граафф существенно нарушает стационарность исследуемого поля, при статистическом анализе не учитывалась та часть графика, на которой проявляется данная аномалия.

Из рис. 2 следует, что гармоника с длиной периода около 720 км определяет основную энергию АМП Луны в рассматриваемом диапазоне длин волн.

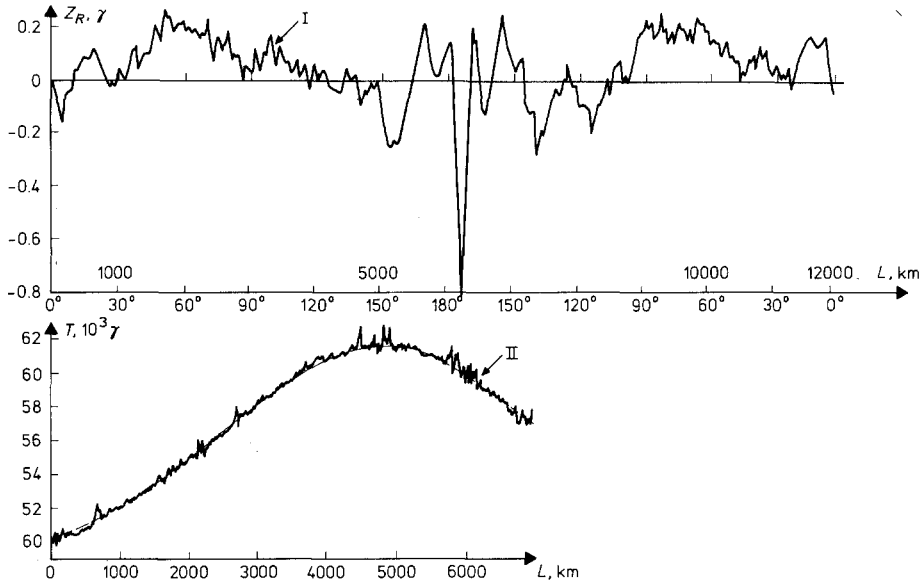


Рис. 1. Графики радиальной составляющей магнитного поля Луны (кривая I) и полной напряженности геомагнитного поля (кривая II).

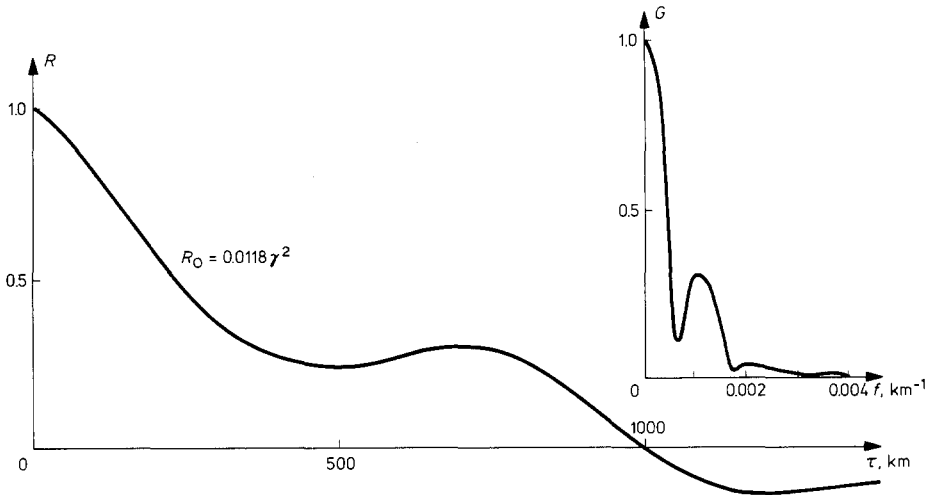


Рис. 2. Графики автокорреляционной функции (R) и энергетического спектра (G) магнитного поля Луны.

Статистическая оценка автокорреляционной функции АМП Луны является достаточно надежной, т. к. длина магнитного профиля более чем в 10 раз превышает длину основной периодичности поля, а средне-квадратическая погрешность определения нормированной автокорреляционной функции около 0.22 [3]. Частотные свойства основной гармоники АМП Луны с длиной волны T характеризуются радиусом корреляции (r), который, если его оценивать как

$1/5 T$, равен 144 км. Если полученное значение радиуса корреляции нанести на график зависимости радиуса корреляции АМП Земли от высоты магнитных съемок, определенной по данным разновысотных съемок [4] рис. 3, то, как

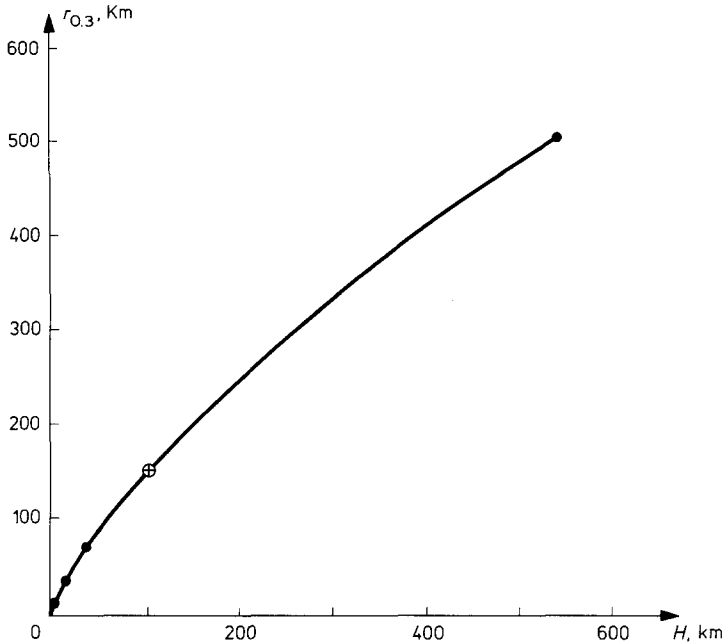


Рис. 3. График зависимости радиуса корреляции (r) аномального магнитного поля Земли от высоты магнитных съемок.

видно из рисунка, вычисленное значение параметра r оказывается близким к указанной кривой, что, повидимому, свидетельствует о примерно одинаковом законе суммирования отдельных магнитных источников в крупные эффективные магнитоактивные тела при формировании аномальных магнитных полей в условиях Земли и Луны.

На рис. 4 представлены пространственные спектры земных и лунных аномалий. Здесь для построения лунного спектра использованы данные магнитных съемок, полученные на высоте 100 км субсателлитами Аполлон-15 и Аполлон-16 [5]. Для пересчета напряженности аномального магнитного поля на лунную поверхность использован обычный прием пересчета поля с одного уровня на другой. Земной спектр построен по данным [6], где дан энергетический спектр аномального магнитного поля вдоль профиля, опоясывающего весь земной шар вблизи экватора. Из сравнения спектров аномального поля Луны и Земли следует, что в диапазоне характерных размеров аномалий свыше 100 км интенсивность лунных аномалий значительно ниже интенсивности земных аномалий. Более короткопериодные аномалии близки по величине для Земли и Луны. Вместе с тем, отношение среднеквадратичной величины амплитуды земных аномалий к аналогичному параметру лунных аномалий для одних и тех же характерных размеров на поверхности планет меняется от 6 (длиннопериодные

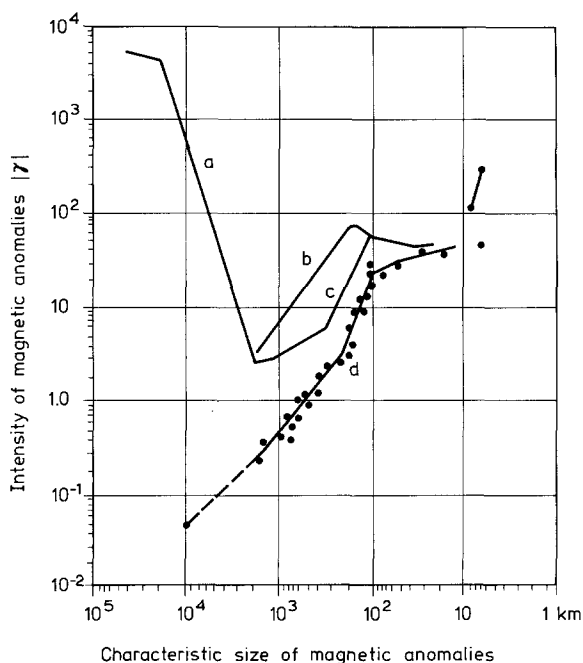


Рис. 4. Графики пространственных спектров земных и лунных аномалий. (а) Спектр низкочастотной компоненты геомагнитного поля; (б) Спектр АМП континентальной земной коры; (в) Спектр АМП молодой океанической земной коры; (д) Спектр АМП Луны.

аномалии) до 2 (характерные размеры до 100 км), в то время, как то же отношение на высоте 100 км имеет значение порядка 100, что говорит о большой скорости затухания АМП Луны с высотой по сравнению с аномальным полем Земли. С другой стороны, в поведении обоих спектров отмечается много сходного. Так, если в условиях Земли переход от главного поля к аномальному наблюдается при размере периодичности поля около 2000 км, то наиболее длиннопериодные лунные аномалии имеют примерно тот же период. Кроме того, в обоих случаях отмечается рост величины поля аномалий по мере убывания их пространственных длин волн, причем характер изменения лунного графика наиболее близок к характеру изменения спектра аномального поля океанов (кривая *b*, рис. 4).

В более коротковолновой части спектра (характерные размеры менее 100 км) интенсивности лунных и земных аномалий по величине при одной и той же длине пространственной волны примерно совпадают друг с другом. Здесь необходимо отметить, что в лунном спектре эта часть графика является наименее представительной, т. к. состоит всего лишь из пяти точек; аномалии Ван-де-Грааф ($H = 16\gamma$, $L = 85$ км [5]), аномалии кратера Лемонье ($H = 20 \div 25\gamma$, $L = 55$ км [7]), аномалии Аполлона-16 ($H = 100 \div 300\gamma$, $L = 6 \div 9$ км [7]), аномалии Аполлона-12 ($H = 38\gamma$, $L = 18$ км [7]) и аномалии тектонического разлома Борозда Прямая в кратере Лемонье ($H = 30 \div 40\gamma$, $L = 1$ км [7]), где H — интенсивность аномалии, а L — ее горизонтальные размеры. В связи с последним обстоя-

ательством нам представляется необходимым остановиться только на низкочастотной части аномальных спектров (т. е. аномалиях с характерным размером свыше 100 км).

Как было выше отмечено, основным отличием лунного спектра являются меньшая интенсивность аномалии при одном и том же горизонтальном размере аномалий, а также большая скорость убывания амплитуды поля с высотой съемки по сравнению с земным спектром. Среднеквадратичная величина магнитной аномалии отражает, главным образом, магнитные свойства источников магнитных аномалий, а скорость ее изменения с высотой существенно зависит от однородности намагничения возмущающих объектов (источников).

В связи с этим интересно отметить, что намагниченность земных горных пород состоит из двух основных видов намагниченности: индуктивной (вызываемой действием главного поля Земли) и остаточной, в то время как лунные породы из-за отсутствия современного дипольного поля нашего спутника обладают только естественной остаточной намагниченностью (NRM). Кроме того, если в условиях Земли основным носителем магнетизма является магнетит, то в условиях Луны ферромагнитный материал представлен, главным образом, металлическим железом [8].

Хорошо известно, что индуктивная намагниченность земных магматических пород часто по величине в несколько раз меньше (иногда на 1 порядок), чем их естественная остаточная намагниченность. Поэтому меньшую интенсивность магнитных аномалий лунного спектра по сравнению с аналогичными аномалиями земного спектра объяснить только величиной дополнительной индуктивной намагниченности земных горных пород, повидимому, нельзя. Однако, последняя обладает тем свойством, что ее направление совпадает с направлением современного главного поля, а это на больших регионах должно приводить к однородности индуктивного намагничения с помощью которой уже можно объяснить меньшую скорость затухания с высотой напряженности АМП Земли по сравнению с аномальным полем Луны. С другой стороны, величина естественной остаточной намагниченности горных пород при всех прочих условиях зависит от процентного содержания в последних ферромагнитного материала. На Земле нормальное содержание магнетита в магматических породах составляет 1 ÷ 10 вес % [9]. На Луне концентрация металлического железа в породах, способных вызывать магнитные аномалии, в среднем не превышает 0,5 вес % [7]. Если сравнить гистограмму распределения естественной остаточной намагниченности (NRM) среди основных типов лунных пород (базальтов и брекчий), приведенную Стренгвеем в [8] с графиком лунного спектра (рис. 4), то можно видеть, что аномалии с характерным размером в несколько сот километров могут обеспечиваться морскими базальтами и термораскристаллизованными брекчиями со средним содержанием металлического железа 0.05 ÷ 0.06 и 0.1 вес. %, соответственно [8]. Общим свойством данных пород является их происхождение из расплавов: либо расплава материала лунных недр, либо ударного расплава местных пород [10], что дает основание думать о термоостаточной природе их остаточной намагниченности. Поскольку среди земных пород магматического происхождения наиболее распространенным видом остаточной намагниченности также является термоостаточная намагниченность, то

объяснение в разнице интенсивности протяженных лунных и земных аномалий, повидимому, следует искать и в различном содержании ферромагнитной фракции горных пород.

Таким образом, можно предварительно заключить, что повышенная скорость затухания лунных полей с высотой связана с отсутствием в лунных породах индуктивной намагниченности, а меньшая интенсивность протяженных лунных аномалий по сравнению с земными, вероятно, вызвана, в основном, пониженной концентрацией ферромагнитного материала в лунных породах.

Определенное сходство аномальных полей Земли и Луны, видимо, говорит о сходстве геологических процессов, приводящих к возникновению региональных магнитных аномалий. Однако эти процессы должны отличаться друг от друга, во-первых, геохимической обстановкой (окислительные условия на Земле и восстановительные условия на Луне), в результате которой в земных условиях в качестве основного носителя магнетизма выступает магнетит, а в лунных – металлическое железо, и, во-вторых, глубиной образования магнитоактивного материала. Последнее обстоятельство связано с различными значениями точек Кюри основных носителей магнетизма (у магнетита $T_K = 590^\circ\text{C}$, у железа – $T_K = 780^\circ\text{C}$) и температурного градиента в верхних частях планет (у Земли – $30^\circ/\text{км}$, у Луны – $4 \div 3^\circ/\text{км}$ [1]). Поэтому глубина изотермы Кюри в земных условиях не превышает первых десятков километров, а в лунных условиях толщина магнитоактивного слоя может достигать 200 км.

Выводы

Сравнение аномальных магнитных полей Луны и Земли показало, что основное различие спектров АМП заключается в пониженной интенсивности длиннопериодных лунных аномалий и повышенной скорости их затухания с высотой.

Если меньшая величина напряженности лунных полей, видимо, связана с низкой концентрацией ферромагнитного материала по сравнению с источниками земных аномалий, то повышенная скорость затухания интенсивности лунных аномалий с высотой вызвана отсутствием в лунных породах индуктивной намагниченности.

Одинаковые горизонтальные размеры длиннопериодных магнитных аномалий Луны и Земли, повышение интенсивности магнитных аномалий в обоих спектрах по мере уменьшения их линейных размеров, примерно одинаковый закон суммирования отдельных магнитных источников в крупные эффективные магнитоактивные тела при формировании аномальных магнитных полей указывает на сходство процессов образования как лунных, так и земных АМП.

Литература

- [1] C. T. Russell, P. J. Coleman, B. R. Lichtenstein, G. Schubert, and L. R. Sharp: 'Proceedings of the Fourth Lunar Science Conference, Houston, Texas', *Geochim. Cosmochim. Acta*, J. *Geochim. Soc. Meteor. Soc.* 3 (1973), Suppl. 4, 2833.
- [2] В. Н. Луговенко: *Статистический анализ аномального магнитного поля территории СССР*, М., «Наука», 1974.
- [3] В. Н. Луговенко: *О разделении геомагнитного поля на аномальную и нормальную составляющие*, М., «Наука», 1969.

- [4] В. Н. Луговенко, А. Г. Попов, Ю. П. Цветков, и А. Л. Харитонов: «Зависимость свойств аномального магнитного поля от высоты магнитной съемки», Сб. *Анализ пространственно-временной структуры геомагнитного поля*, часть II, в печати.
- [5] L. R. Sharp, P. J. Coleman, Jr, B. R. Lichtenstein, G. Schubert, C. T. Russell: *Moon* 7 (1973), 322.
- [6] L. R. Alldredge: *J. Geomag. Geoelectr.* 17 (1965), 3–4, 173.
- [7] Sh. Sh. Dolginov, Ye. G. Yeroshenko, V. A. Scharova, T. A. Vnuchkova, L. L. Vanjan, B. A. Okulesky, и А. Т. Busilevsky: *Moon* 15 1976, 3.
- [8] Д. В. Стренгвей, Г. В. Пирс, и Г. Р. Олхофт: Сб. *Космохимия Луны и планет*, М., «Наука», 1975, 712.
- [9] Т. Нагата: *Магнетизм горных пород*, М., Иностранная литература, 1956.
- [10] В. К. Финней, Д. Л. Уорнер, и К. Х. Симондс: Сб. *Космохимия Луны и планет*, М., «Наука», 1975, 54.
- [11] В. Е. Фадеев и Б. А. Окулесский: *Космические исследования* 12 (1974), 4, 610.