

*Б. Н. Родионов, А. А. Нефедьев, М. И. Шпектин,
С. Г. Валеев, В. В. Киселев*

ИЗУЧЕНИЕ РЕЛЬЕФА ОБРАТНОЙ СТОРОНЫ ЛУНЫ ПО ФОТОГРАФИЯМ КА «ЗОНД-8»

Приводятся результаты обработки фотографий западного полушария Луны из доставленных «Зондом-8». Выполнен анализ рельефа обратной стороны Луны по изображениям лимбов, результаты которого подтверждают данные «Зонда-6». Показано, что на обратной стороне Луны имеется низменность, сравнимая с некоторыми морями видимой стороны, а в районе Южного полюса, возможно, имеется большой ранее неизвестный кратер.

В результате обработки фотографий, доставленных в 1968 г. «Зондом-6», на обратной стороне Луны была открыта обширная низменность, условно названная «Юго-Западной» [1]. Это открытие подтверждено данными лазерного альтиметрирования в 1971 г. с «Аполлона-15» [2]. Обработка фотографий, полученных в 1970 г. «Зондом-8», позволяет уточнить параметры «Юго-Западной» низменности, а также по новому интерпретировать характерные формы рельефа, замеченные в виде выступов на лимбе на снимках, сделанных «Зондом-6».

Ниже излагаются результаты обработки позитивных копий двух снимков из доставленных «Зондом-8». Параметры съемки с «Зонда-8» аналогичны параметрам «Зонда-6», описанным в [1]. Во время съемки «Зонд-8» находился над западным полушарием Луны немного восточнее, чем «Зонд-6» и Луна из точек фотографирования наблюдалась не в полнолуние, а в фазе приблизительно 0,8 (на тцевой стороне край Луны, обращенный к Земле).

По методике, аналогичной применявшейся ранее [1], была выполнена фотограмметрическая обработка снимков. Отличия состояли в следующем.

В качестве опорных точек использованы 12 четко изобразившихся кратеров западного полушария, из которых 4 кратера принадлежат обратной стороне Луны. Селенографические координаты последних взяты из каталога [1], построенного в системе Голосеевского каталога.

На каждом снимке измерено около 500 точек лимба по дуге примерно 200° . По 60 симметрично расположенным точкам лимбов определены углы наклона и разворота снимков α и κ . Затем введены трансформационные поправки и найдены радиусы аппроксимирующих окружностей r и соответствующие им радиусы R малых кругов лунной сферы. Были определены также расстояния Δ от центра Луны до космического аппарата. С использованием опорных кратеров найдены селенографические координаты λ и β подспутниковых точек, соответствующих центрам аппроксимирующих окружностей и точек края лунного диска. Параметры ориентации снимков и аппроксимирующих окружностей даны в табл. 1.

Для изучения рельефа Луны в области сфотографированных лимбов были вычерчены профили лимбов. Процедура построения профилей состояла в следующем. После обработки результатов измерений на ЭВМ на печать выводились числовые данные, характеризующие исследуемый про-

филь: селенографические координаты λ и β измеренных точек лимба, их позиционные углы P , отсчитанные от проекции оси вращения Луны, радиусы r аппроксимирующих окружностей и высоты этих точек в километрах. За высоту точки принимались отклонения радиус-векторов измеренных точек лимба от радиуса аппроксимирующей окружности. Таким образом, высоты всех лунных образований лимба взяты в проекции на картинную плоскость. Следовательно, действительные величины этих образований (глубины понижений и высоты выступов) будут, вообще говоря,

Таблица 1

Элементы	Снимок 6	Снимок 37	Элементы	Снимок 6	Снимок 37
α	1°06'8	2°29'6	β	-7°1	-7°5
κ	55°53'0	74°33'0	r , мм	62,71	66,92
Δ , км	11305,0	10610,4	R , км	1717,3	1714,5
λ	-67°9	-69°4			

Таблица 2

№ точки	Снимок 6			Снимок 37		
	λ	β	H , км	λ	β	H , км
1	-150,8	-19,0	+4,0	-151,8	-18,7	+4,5
2	-151,6	-31,0	-6,1	-152,7	-30,8	-6,2
3	-151,7	-31,5	-3,9	-152,8	-31,6	-4,4
4	-151,9	-36,0	-7,1	-153,3	-41,8	-6,2
5	-152,2	-43,4	-2,5	-153,4	-43,4	-2,7
6	-150,5	-72,0	+6,8	-151,2	-72,4	+6,1
7	-147,0	-85,9	+9,6	-145,9	-85,9	+8,9

не меньше значений, полученных описанным способом. От окружностей радиуса r были отложены высоты с двадцатикратным увеличением масштаба в радиальном направлении. Полученные профили для снимков 6 и 37 представлены на рис. 1 и рис. 2. Нанесена часть профиля, не искаженная терминатором. Плоскость сечения, в которой лежат профили, ориентирована так, что часть профиля в интервалах позиционных углов $340-0^\circ$, $0-7^\circ$ в северном полушарии и $180-185^\circ$ в южном принадлежит видимой стороне Луны. Остальная часть профилей, т. е. участок в интервале позиционных углов $7-180^\circ$, принадлежит обратной стороне Луны, что соответствует интервалу широт: от $+71,5^\circ$ в северном полушарии до -88° в южном.

На рисунках нанесена также сетка контрольных крестов. Положение сетки на рисунках соответствует ее действительному положению на снимке. Значком \times обозначен центр аппроксимирующей окружности.

Общая форма рельефа, изображенного на профилях, оказалась довольно сложной. Так, вблизи экватора в районе позиционных углов $85-110^\circ$ имеется выпуклость высотой $+4,0$ км на снимке 6 и $+4,5$ км на снимке 37. Значительная выпуклость имеется также вблизи южного полюса, начиная с позиционного угла 163° и достигающая в отдельных местах высоты 9 км. Лимб в районах позиционных углов $10-57^\circ$ и $117-155^\circ$ расположен ниже уровня аппроксимирующей окружности и, следовательно, соответствует понижениям на лунной поверхности, причем глубина этих понижений для района в позиционных углах $117-155^\circ$ доходит до 6 км (снимок 37) — 7 км (снимок 6).

В табл. 2 приведены данные об отдельных точках лимба, обозначенных на профилях цифрами от 1 до 7. Высоты H даны относительно аппроксимирующей окружности и относятся к точкам на поверхности Луны с координатами λ и β .

Зная селенографические координаты точек края и их высоты, можно проследить каким образом линия лимбов для исследуемых снимков располагается среди тех или иных образований на поверхности обратной стороны Луны.

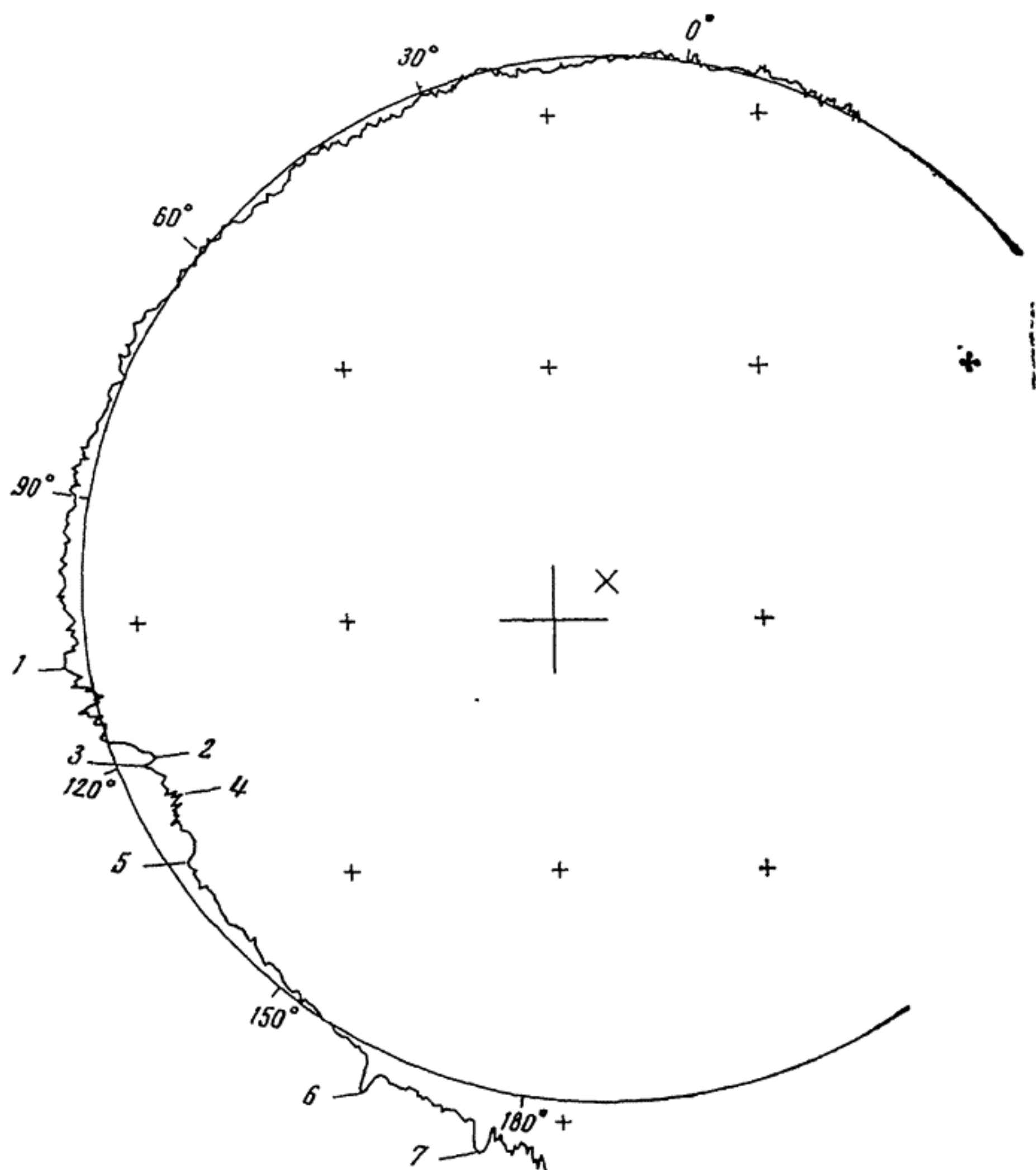


Рис. 1

Выпуклость вблизи экватора (на профилях в районе позиционных углов $85-110^\circ$) проходит рядом с восточным краем большого кратера Королев и пересекает восточную часть вала кратера Галуа. По-видимому, эта выпуклость на лимбе сформирована валами этих кратеров и различными образованиями на лунной поверхности, примыкающими к валу. Обращает на себя внимание выступ, обозначенный цифрой 1. Он имеет характерную форму, вид которой на снимках 6 и 37 различен. Такое различие обусловлено тем, что линии лимбов, соответствующие этим участкам профилей, удалены друг от друга на поверхности Луны на 30 км в долготном направлении.

На участке лимба в районе позиционных углов $117-155^\circ$ по обоим снимкам уверенно просматривается значительное понижение. Это означает, что на поверхности Луны имеется большая низменность, сечение которой картинной плоскостью характеризуется следующими величинами. Протяженность с севера на юг более 1000 км, средняя глубина (относительно аппроксимирующей окружности) $3,6$ км для снимка 6 и $3,4$ км для снимка 37. Низменность пересекается картинной плоскостью вдоль лунного меридиана, долгота которого -152° . Селенографическая широта северного края сечения низменности -28° , южного края -67° .

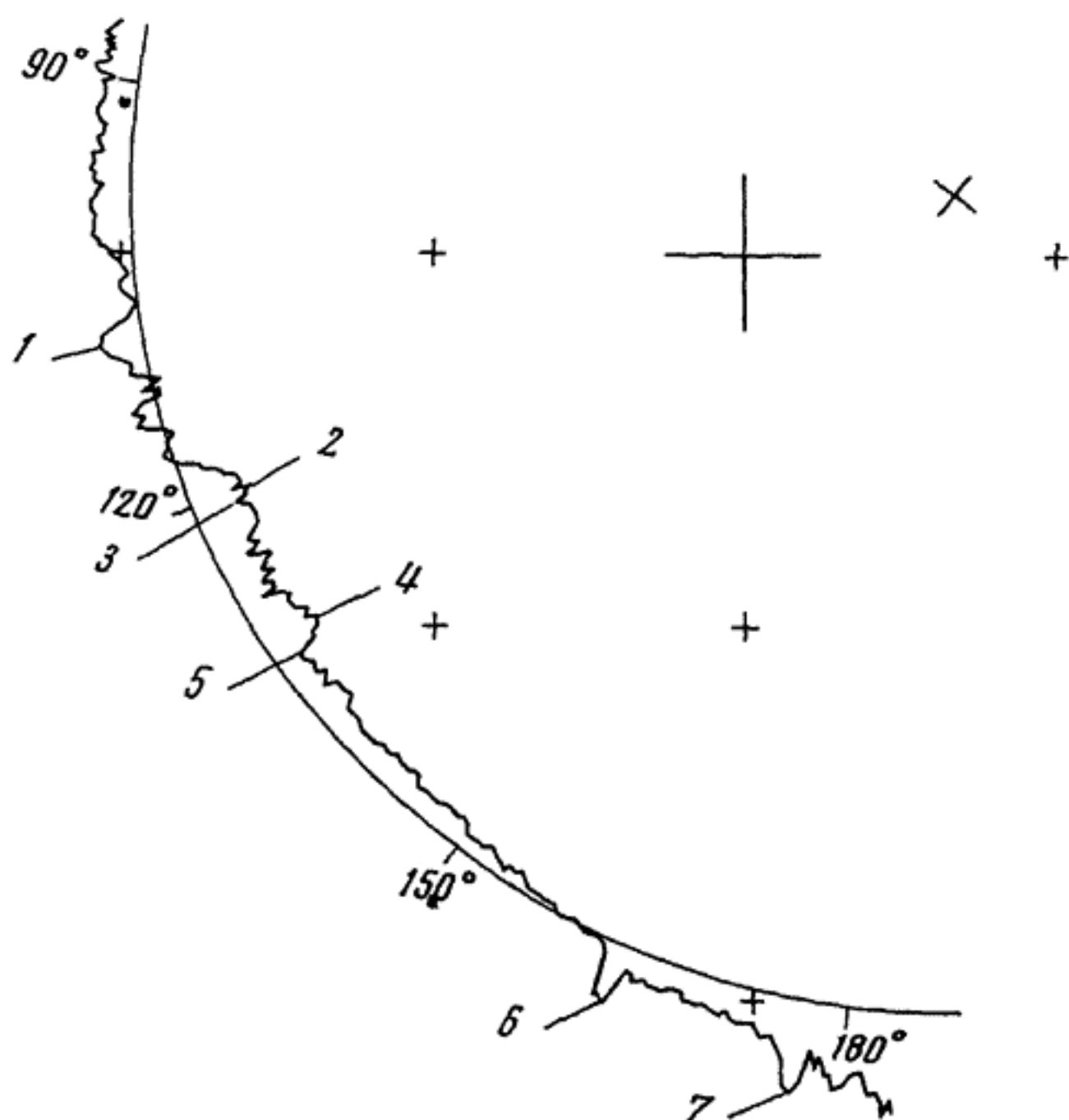


Рис. 2

Форма рельефа в сечении низменности имеет сложный вид. Ее можно разделить на два участка. Первый в районе позиционных углов $117-133^\circ$ (селенографическая широта от -28° до -43°) и второй в районе позиционных углов $133-155^\circ$ (селенографическая широта от -43° до -67°). Первый участок расположен на $5,3$ км ниже среднего уровня лимба, второй на $1,9$ км. Для снимка 37 соответственно $4,7$ и $2,2$ км. На карте лунной поверхности линия лимба, соответствующая первому участку, пересекает большой кратер Аполлон (LPC-1 [4]). Дно этого кратера имеет очень сложную структуру, что хорошо изобразилось и на профилях. Центральная часть кратера на снимке 37 заметно выше, чем на снимке 6. Это объясняется тем, что линия лимба, как показывает нанесение ее на карту, проходит в этом месте для снимка 37 на 30 км западнее, ближе к кратеру Чаффи и безымянному кратеру, расположенному несколько восточнее, и, по всей видимости, валы этих кратеров и перемычка, соединяющая кратеры Дриден и Чаффи, формируют лимб соответствующий центральной части кратера Аполлон. Цифрами 2—5 на рис. 1 и 2 обозначены отдельные точки на лимбе, принадлежащие этому участку. В табл. 2 даны высоты и селенографические координаты этих точек. Вторым участком расположен к югу от кратера Аполлон. В точке лимба, обозначенной цифрой 5, виден профиль сечения южного вала кратера. Четко видно, что в сечении южный вал кратера Аполлон заметно ниже (в среднем на $2,5$ км) его северного вала и среднего уровня всего лимба. Сравнивая размеры

кратера Аполлон с размерами всей низменности, можно заключить, что кратер является деталью на ее фоне, причем северная часть вала кратера примыкает к горному району, а южная расположена прямо на дне низменности.

Сравнение данных «Зонда-6» и «Зонда-8» показывает, что на фотографиях получены сечения одной и той же низменности на обратной стороне Луны, названной в [1] «Юго-Западной». Линии лимбов в местах, соответствующих низменности, отстоят друг от друга на лунной поверхности на расстоянии 250—300 км. Судя по глубине сечений и их взаимному удалению в долготном направлении, размеры Юго-Западной низменности по долготе могут достигать нескольких сот километров.

Обработка лазерных измерений «Аполлона-15» [2] показала, что на обратной стороне Луны имеется значительная депрессия, протянувшаяся на 1400 км в долготном направлении с центром вблизи кратера Ван Де Графф. Очевидно, что по измерениям «Аполлона-15» получен разрез той же Юго-Западной низменности, но в другой ее части к северо-западу от сечений «Зонда-6» и «Зонда-8».

Другой интересной деталью полученных профилей являются два больших выступа на лимбе в местах с позиционными углами 163° (6) и 76° (7). Их размеры достигают таких величин, что они видны на фотографиях невооруженным глазом.

После нанесения их селенографических координат на карту выступ 6 попадает внутрь кратера Зеeman [5] и между кратерами Зеeman и Нумеров на карте LPS-1.

Выступ 7, самая высокая точка на исследованных лимбах, как и на снимках «Зонда-6» [1] после нанесения на карту, попадает в зону, не охваченную фотографиями космических аппаратов. Для этого выступа были вычислены гайновские координаты P и D с тем, чтобы попытаться найти его на картах Краевой Зоны Луны, построенных по наземным наблюдениям. Однако интересующий нас район ни на картах Уоттса [6], ни на картах Нефедьева [7] не охвачен изогипсами. Выступ 6 находится в таком месте на Луне, что вообще недоступен наземным наблюдениям. Таким образом, как и прежде [1], отождествить оба эти выступа с какими-либо образованиями на картах не удастся.

Сопоставление лимбов в районе этих выступов для «Зонда-6» и «Зонда-8» позволяет заключить, что, возможно, в этом месте на поверхности Луны имеется большой кратер, разрез которого получен на фотографиях. Используя измерения этих фотографий, мы получили диаметр кратера, равный 500 км, и селенографические координаты центра: долгота $\lambda = -140^\circ$, широта $\beta = -77^\circ$.

Оценка точности высот на профилях была сделана путем сравнения высот, снятых с профилей, построенных аналогичным способом по двум соседним снимкам №№ 2 и 3. Средняя квадратичная ошибка определения высот составила величину $\pm 0,2$ км. В эту оценку вошли погрешности измерения координат точек лимба, погрешности методики обработки, погрешности вычислений и погрешности построения профилей. Она содержит в себе также те изменения высот, которые произошли за счет перемещения фотоаппарата по орбите во время съемки, так как линии лимбов для двух последовательных снимков, по которым проводилась оценка точности, отстоят друг от друга на поверхности Луны приблизительно на полтора километра.

Так же как и по материалам «Зонда-6», на фотографиях «Зонда-8» обнаружен большой перепад высот. На исследованных лимбах он составил 15,1 км для снимка 6 и 13,6 км для снимка 37.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Обработка фотографий западного полушария Луны, доставленных «Зондом-8», подтверждает наличие на обратной стороне Луны обширной низменности и больших возвышенностей в районе Южного полюса, впервые обнаруженных в 1971 г. [1]. Совместный анализ снимков «Зонда-6» и «Зонда-8» позволил интерпретировать эти выступы как сечение вала большого ранее неизвестного кратера.

Сопоставление результатов «Зонда-8» с данными «Зонда-6» и «Аполлона-15» приводит к заключению, что Юго-Западная низменность на обратной стороне Луны расположена к юго-востоку от ее центральной части и имеет размеры, сравнимые с размерами некоторых морей видимой стороны.

Получена оценка точности высот на профилях лимба. Точность высот на построенных профилях, составляющая величину порядка $\pm 0,2$ км, свидетельствует в пользу того, что задача об определении высот на Луне по изображениям лимбов представляет несомненный практический интерес.

Опыт выполненной работы говорит о том, что при съемке Луны с космических аппаратов целесообразно проводить фотографирование всего диска Луны. Особую ценность будут представлять снимки, сделанные с разных сторон, дающие возможность эффективно изучать геометрическую фигуру и рельеф Луны в глобальном масштабе.

Дата поступления
3 июля 1975 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Н. Родионов, И. В. Исавнина, Ю. Ф. Авдеев и др. Космич. исслед., 9, № 3, 450, 1971.
2. W. R. Wocephaupt, W. L. Sjogren. The Moon, 4, 3/4, 1972.
3. В. А. Красиков, Я. Л. Зиман, Б. Н. Родионов. Атлас обратной стороны Луны, 3, М., «Наука», 1975.
4. Lunar Chart (LPC-1), Special NASA Edition, 1st Edition, 1970.
5. Полная карта Луны, М., «Наука», 1969.
6. C. B. Watts. The Marginal Zone of the Moon. Astronomical Papers, 17, Washington, 1963.
7. А. А. Нефедьев. Карты рельефа краевой зоны Луны на общем нулевом уровне, Казань, 1958.