

УДК: 521.9/523.3

Ю.А. Нефедьев<sup>1</sup>, Л.И. Рахимов<sup>1</sup>, Н.Г. Ризванов<sup>1</sup>, Н.Ю. Варакина<sup>1</sup>  
Р.Р. Заббарова<sup>1</sup>, К.О. Чуркин<sup>1</sup>, В.С. Боровских<sup>2</sup><sup>1</sup>Астрономическая обсерватория им. В.П. Энгельгардта, Казань, star1955@mail.ru  
<sup>2</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, borovskix@kgasu.ru

## МЕТОД СОЗДАНИЯ КАТАЛОГА КРАТЕРОВ ЛИБРАЦИОННОЙ ЗОНЫ ЛУНЫ

Рассматривается вопрос построения опорного селенодезического каталога в лунной либрационной зоне на основе карт краевой зоны «Казань» и Уоттса с привлечением данных Полной карты Луны, построенной в ГАИШ.

*Ключевые слова:* либрационная зона Луны, опорные селеноцентрические сети, карты краевой зоны Луны.

### Введение

Либрационная зона Луны до сих пор представляет собой достаточно неисследованный в селеноцентрическом плане район. К настоящему времени накоплены большие ряды измерений профилей краевой зоны Луны гелиометрическими и фотографическими методами и по данным покрытий звезд Луной. «Но они не могли быть использованы в селенодезических исследованиях, так как соответствующие высоты были отсчитаны от совершенно произвольных нулевых поверхностей» (Гаврилов, Дума, 1971). Наиболее подробными являются карты Уоттса (Watts, 1963). Однако система координат данных этих карт не совпадает с фундаментальной звездной системой. В отличие от всех предыдущих карт, созданных в мировой практике, в картах краевой зоны «Казань» (Рахимов, 1992) поверхность отсчета неровностей лунного края отнесена к фундаментальной небесной системе координат, эфемеридному центру масс Луны и ее главным осям инерции. Таким образом, метод построения опорного селенодезического каталога объектов в либрационной зоне состоит из следующих основных этапов: приведение изогипс карт Уоттса с поправками Моррисона (Morrison, 1979) к системе карт «Казань»; отождествлению кратеров на картах краевой зоны с использованием Полной карты Луны (Липский, 1979), созданной ГАИШ МГУ и Топографо-геодезической службой СССР под научным руководством Ю.Н. Липского; и приведение их к системе координат карт Уоттса, согласованных с картами «Казань».

В Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта проведены работы по построению каталога селенодезических опорных кратеров либрационной зоны Луны. Данный каталог планируется в дальнейшем использовать для привязки селеноцентрических данных обратной стороны Луны к системе селенодезического каталога КСК-1162.

### Анализ современных моделей краевой зоны Луны

На рис. 1 изображена селенографическая система координат

ординат Гайна (P и D) при моделировании краевого пояса Луны. Положительным полюсом является точка пересечения нулевого меридиана с лунным экватором, широта D отсчитывается в направлении к Земле. Для вывода формул перехода от селенографических координат к координатам Гайна используется вспомогательная сфера, описанная около центра Луны. В точке Z – видимая середина лунного диска; N' – северный полюс Луны; C – позиционный угол дуги большого круга ZN'. Большой круг O<sub>1</sub>NE имеет полюс в точке Z, следовательно параллелен видимому краю Луны. O – наблюдаемая точка; O<sub>1</sub> – точка пересечения круга O<sub>1</sub>NE большим кругом, проходящим через центр Z и через наблюдаемую точку O. Точка A является началом счета долгот на лунном экваторе AE. N'ZB – большой круг. Точка O<sub>1</sub> расположена на невидимой стороне Луны, недалеко от точки O. Координаты P и D использовались при построении практически всех современных карт краевой зоны Луны.

Первые попытки изучения рельефа лунной поверхности относятся к глубокой древности. Аристотель, например, считал, что поверхность Луны является гладким шаром, зеркально отражающим тени и отблески морей и гор нашей Земли. В X веке н.э. арабский математик Альхазен полагал, что видимый рисунок видимой стороны Луны является следствием различной отражательной способности разных участков лунной поверхности. Но и в то время были ученые, которые считали, что наблюдаемые рисунки на поверхности Луны являются следствием изрезанного рельефа (Демокрит, Плутарх и др.). Первые достоверные сведения о поверхности Луны были получены Галилеем в 1649 г., он сделал попытку нарисовать горы на Луне, которые он наблюдал своей зрительной трубой. В это же время были изданы карты поверхности Луны, составленные Гевелиусом. Он провел зарисовку Луны при различных фазах, дал земные названия горам – Апеннины, Кавказ, Карпаты и др. Его современник Риччиоли присвоил многим местностям имена известных людей. Кассини по глазомерным оценкам составил карту Луны. В середине 18 столетия Тобиас Майер тщательно выполнил основан-

Окончание статьи Р.В. Чернова «Способ обработки нагнетательных скважин...»

R.V. Chernov. **Well treatment avoiding the use of underground interventions.**

We discuss a possible solution to one of the typical problems accompanying a well survey. The proposed method allows for cleaning pumping compressor pipes without the use of expensive underground intervention techniques. Some results of field experiment are presented. The method can be used to enhance oil recovery.

*Keywords:* waterflood operation, well survey, enhanced oil recovery.

*Роман Викторович Чернов*

Аспирант кафедры Разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Альметьевского государственного нефтяного института.

423450, Альметьевск, ул. Ленина, д. 2. Тел: (8553) 31-00-79.

ную на многочисленных измерениях карту Луны, которая впервые давала истинные взаиморасположения лунных гор. Во второй половине 18 столетия были созданы большие зеркальные телескопы, по наблюдениям на таком телескопе Шретер опубликовал данные наблюдений с соответствующими иллюстрациями. В 18 столетии Лорман составил карты Луны, используя принципы топографических съемок, частично опубликовал карты в 1824 г., остальные были опубликованы Шмидтом в 1878 г., в общем они содержали 7178 кратеров и 99 борозд. Позднее Шмидт опубликовал карты, полученные из наблюдений за 32 года, они содержали 32 856 кратеров и 348 борозд. Франц в 1901 г. опубликовал список положений и высот 150 точек, равномерно распределенных по поверхности Луны, используя пять фотографий Луны вблизи полнолуния. Положения точек определялись относительно кратеров с известными селенографическими координатами, определенными относительно Местинга А по гелиометрическим наблюдениям. К известным кратерам в дальнейшем были привязаны положения 1400 точек. Сравнивая попарно пять фотографий Луны при различных либрациях, Франц определял высоты неровностей так называемым стереоскопическим методом. Он сделал заключение, что гористые и богатые кратерами местности лежат сравнительно высоко над средним уровнем, а моря – низко. Он определил удлиненность Луны по направлению к Земле. С 1903 по 1911 г. Саундер определил положения 2900 объектов на лунной поверхности по отношению к фундаментальным точкам, полученным Францем. Но все полученные координаты, примерно 4500 точек Луны, были обременены большими индивидуальными и систематическими ошибками вследствие того, что в их основе лежало предположение, что Луна – идеальный шар, и были не очень точные координаты опорных точек.

В 1934 г. Риттер опубликовал работу, в которой рельеф определялся по разности положений наблюдаемой и теоретической границы тени. Этот метод был раскритикован казанскими астрономами. В 1952 г. Хопман произвел критический обзор всех выполненных исследований лунной поверхности и заново отредуцировал измерения положений 150 точек Франца и вычислил абсолютные высоты этих точек над средним уровнем. В 1956 году Шрутка-Рехтенштамм переработал старые наблюдения Луны, привел положения кратеров к центру фигуры, а не к центру масс.

Такое большое внимание к изучению фигуры, движения, вращения и рельефа Луны вполне понятно. Наблюдения Луны проводились для решения ряда астрономических проблем. Быстрое движение ее и близость к Земле позволяли изучать вращение Земли, определять поправки к размерам и фигуре Земли, определять большие расстояния на поверхности Земли. Определялось положение точки отсчета прямых восхождений в фундаментальных каталогах звезд. Создавалась опорная селенодезическая сеть на лунной

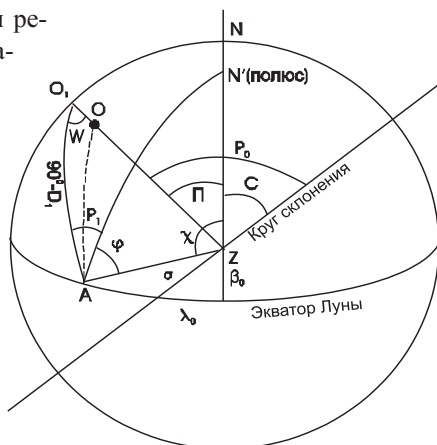


Рис. 1. Система селенографических координат Гайна.

поверхности, изучение ее рельефа было важно для посадки на Луну космических кораблей и для изучения вопроса происхождения Луны.

Определение положений и высот точек на лунной поверхности, измерение координат Луны, изучение ее вращения и фигуры связаны с наблюдениями лунного края, испещренного неровностями, высота которых иногда достигает 2" и изменяется в зависимости от либрации. Поэтому весьма важной проблемой всегда являлось построение карт рельефа лунного края. Первые надежные карты были построены немецким астрономом Гайном. С целью исследования физической либрации Луны на рефракторе Лейпцигской обсерватории он производил микрометрические измерения разностей прямых восхождений и склонений между кратером Местинг А и четырьмя другими кратерами. Гайн опубликовал свои карты в 1914 г.

Через 40 лет, в 1954 г. французский астроном Веймер использовал фотографии, полученные на большом рефракторе Парижской обсерватории. Было выбрано 3 тысячи фотографий, на которых изображения лунного диска имели диаметр в 17 см. Веймер построил карты профиля относительно позиционных углов, отсчитанных от лунного центрального меридиана. Недостаток карт Веймера тот же, что и в картах Гайна. Снятые с его карт неровности относятся к разным уровненным поверхностям.

С 1946 г. на Морской обсерватории в Вашингтоне под руководством Уоттса велись работы по изучению рельефа Луны. Были получены фотографии в Вашингтоне, на Йельско-Колумбийской южной станции, в Иоганесбурге и на обсерватории Ловелла в Флагстаффе. На специальной измерительной машине фотоэлектрическим методом вычерчивались профили лунного края. Всего было использовано 700 фотографий, полученных за 400 ночей. В итоге были созданы самые подробные карты краевой зоны Луны.

Решение вопроса о точной поверхности отсчета высот было осуществлено Нефедьевым А.А. Им было предложено за поверхность отсчета неровностей лунного края взять одну из поверхностей уровня потенциала силы тяжести Луны, аналогично определению фигуры Земли, учитывая при этом влияние Земли на гравитационное поле Луны. Подобную поверхность уровня называют селеноидом. При определении неровностей лунного края в первом приближении селеноид принимают за сферу, к которой относят высоты неровностей на Луне. Сложным вопросом является определение радиуса сферы, близкой к селеноиду, что-

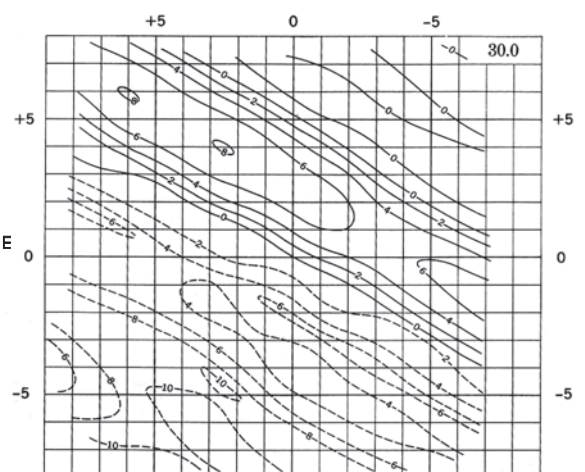


Рис. 2. Карта краевой зоны карт Уоттса для  $P=30^\circ$ .

бы принятое значение радиуса было одной и той же константой для всех рядов наблюдений, выполненных при разных либрациях по широте. Также важной проблемой является нахождение положения центра масс Луны относительно центра фигуры лунного диска. Положение центра масс Луны может быть определено только путем сравнения меридианных наблюдений или наблюдений покрытий с гравитационной теорией движения Луны. Построенные А.А. Нефедьевым карты удовлетворяют поставленным требованиям качества, первое из которых: радиус вероятнейшей окружности, исправленный за неровности, данные в картах, не зависит от оптической либрации по широте.

В 80-х гг. на основе крупномасштабных снимков Луны со звездами Л.И.Рахимовым были созданы карты краевой зоны «Казань», система координат которой относится к динамической, оси совпадают с осями инерции Луны, а центр лежит в лунном эфемеридном центре масс.

### Метод создания каталога кратеров либрационной зоны Луны

На рис. 3 приведено сравнение карты краевой зоны в области с гайновскими долготами от  $P=120^\circ$  до  $P=130^\circ$  с соответствующей либрационной зоной на Полной карте Луны, построенной в ГАИШ. Имеется хорошее согласие рельефов в обоих случаях, что подтверждает возможность определения координат опорных точек в либрационной зоне с использованием карт краевой зоны Луны.

Для отождествления объектов либрационной зоны решается обратная задача. По данным Полной карты Луны вычисляются селеноцентрические прямоугольные координаты  $\xi_K, \eta_K, \zeta_K$ , и по ним вычисляются предварительные гайновские координаты  $P_0, D_0$  с помощью формул:

$$\begin{pmatrix} \rho_0 \sin D_0 \\ -\rho_0 \cos D_0 \sin P_0 \\ \rho_0 \cos D_0 \cos P_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi_K \\ \eta_K \\ \zeta_K \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – приближенный селеноцентрический радиус – вектор точки лунной поверхности. По вычисленным предварительным координатам и с использованием Полной кар-

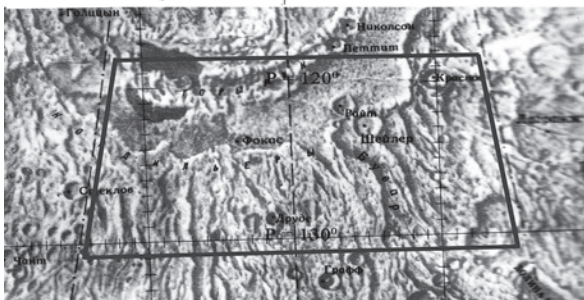
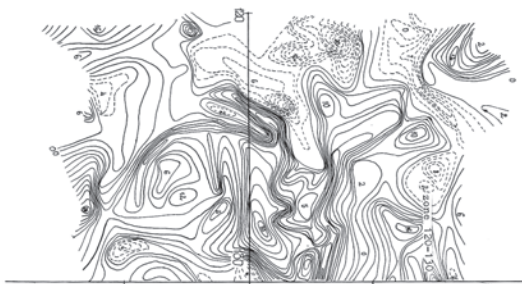


Рис. 3. Сравнение карты краевой зоны в области с гайновскими долготами от  $P=120^\circ$  до  $P=130^\circ$  с соответствующей либрационной зоной на Полной карте Луны, построенной в ГАИШ.

ты Луны и карт краевой зоны Уоттса с поправками Моррисона объект точно отождествляется на картах краевой зоны «Казань», и находятся его точные координаты  $P, D, \rho$ , а затем вычисляются уточненные  $\xi, \eta, \zeta$ , отнесенные к центру масс Луны.

На основе данного метода определяются координаты объектов краевой зоны Луны в динамической системе координат. В настоящее время создана опорная селеноцентрическая сеть краевой зоны Луны, содержащая координаты 48 объектов либрационной зоны Луны, распространенная достаточно равномерно относительно лунного лимба и построенная в системе центра масс и главных осей инерции Луны. Работы в данном направлении продолжаются.

### Заключение

Описанный выше метод создания опорной селеноцентрической сети в краевой зоне Луны в настоящее время является единственной возможностью определения динамических координат объектов либрационной зоны. Данные исследования позволят создать «переходный» опорный каталог между видимой стороной Луны и обратной, что несомненно важно для распространения динамической селенодезической опорной системы на невидимую сторону нашего естественного спутника.

### Литература

Гаврилов И.В., Дума А.С. Методика определения и приведения в единую систему абсолютных высот краевой зоны Луны. *Астрометрия и астрофизика*. 1971. №13. 54-61.  
 Полная карта Луны. Ю.Н. Липский. М.: «Наука». 1979.  
 Рахимов Л.И. Карты рельефа краевой зоны Луны в системе фундаментального каталога звезд. *Известия АОЭ*. 1992. № 57. 89-113.  
 Morrison L.V. An analysis of lunar occultations in the years 1943-1974 for corrections to the constants in Brown's theory, the right ascension system of the FK4, and Watts' lunar – profile datum. *Monthly Notices*. 1979. N. 187. 41-82.  
 Watts C.B. The marginal zone of the Moon. *Astron. Pap. Americ. Ephem.* 1963. Vol.1. 1-951.

Nefedev Y.A., Valeev S.G., Varaksina N.Y., Zabbarova R.R., Churkin K.O., Borovskih V.S. **A catalog of craters of the moon libration zone.**

We describe a method to construct a reference selenocentric catalogue in the lunar libration zone using the marginal zone maps «Kazan» and Watts, as well as the data from the “Full maps of the moon” (SAI).

*Key words:* libration zone of the Moon, reference selenocentric network, maps the marginal zone of the Moon.

**Леонид Исламович Рахимов**  
 Старший научный сотрудник.

**Науфаль Гаязович Ризванов**  
 Ведущий научный сотрудник.

Астрономическая обсерватория им.В.П.Энгельгардта  
 420008, Казань, ул. Кремлевская, д.18. Тел: (927) 425-93-30.

**Виктор Степанович Боровских**

К.физ.-мат.н., доцент, зав. кафедрой Геодезии Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

420043, Казань, ул.Зеленая, 1. Тел: (843) 510-47-57.