

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЛИБРАЦИОННОЙ ЗОНЫ ЛУНЫ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ И ПРИВЯЗКИ ТОЧЕК ЛУННОГО ЛИМБА К ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Чуркин К.О., Нефедьев Ю.А., Демина Н.Ю., Андреев А.О.

Всероссийская астрометрическая конференция
Санкт-Петербург - 2018

АКТУАЛЬНОСТЬ:

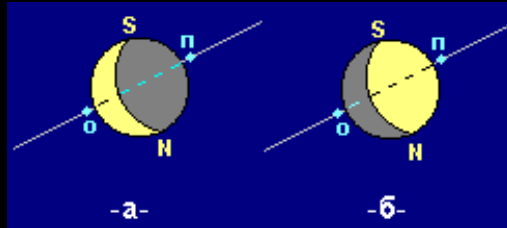
Одной из важных задач астрономии является проведение высокоточных наблюдений быстропротекающих процессов, связанных со звездами. Значительный интерес представляют в этом смысле наблюдения покрытий звезд Луной фотоэлектрическим методом, где падение интенсивности I светового потока от звезды протекает за время порядка 20 - 40 миллисекунд. Эти наблюдения требуют аппаратуры с высокой степенью разрешения тестируемого процесса. Результаты обработки наблюдений представляют собой ценный материал для решения ряда задач астрометрии и астрофизики. В области астрометрии они позволяют решать задачи по созданию моделей либрационной зоны Луны. Существование селенодезических каталогов и карт краевой зоны Луны, дающих сведения о рельефе лунной поверхности, продиктовано жизненной необходимостью. Пока производится редукция наблюдений покрытий звезд Луной, изучение движения центра масс Луны в пространстве, создание селенодезических опорных сетей как видимой, так и обратной сторон нашего естественного спутника, построение точных моделей рельефа Луны не потеряет своей актуальности.

ПОСТАВЛЕННЫЕ ЗАДАЧИ:

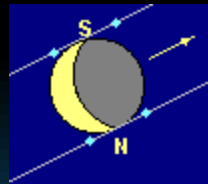
- Создание базы фотоэлектрических покрытий звезд Луной;
- Анализ базы наблюдений фотоэлектрических покрытий;
- В результате комбинации фотоэлектрических наблюдений и данных привязки точек лимба к звездам была построена цифровая модель либрационной зоны Луны (DMZ), содержащей 40 000 точек;
- Сравнение DMZ с цифровой моделью карт Уоттса, построенной L.V.Morrison и G.M.Appleby и получение пространственных диаграмм вариаций поверхностей сравниваемых карт по соответствующим либрациям.

ВИДЫ ЛУННЫХ ПОКРЫТИЙ:

- ✓ покрытия темной стороной лимба Луны (DD disappearances at the dark limb);
- ✓ открытия из-за темной стороны лимбы Луны (RD reappearances at the dark limb);
- ✓ покрытие светлой стороной лимба Луны (DB disappearances at the bright limb);
- ✓ открытие из-за светлой стороны лимба Луны (RB reappearances at the bright limb);



- ✓ касательные покрытия;



МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ПОКРЫТИЙ

✓ Оптический (при наблюдении покрытий необходима лишь регистрация моментов исчезновения и появления звезды):

- через позиционный угол;
- с привязкой к терминатору;
- с привязкой к ближайшему рогу серпа;
- с привязкой к опорным звездам;
- через гидирование;

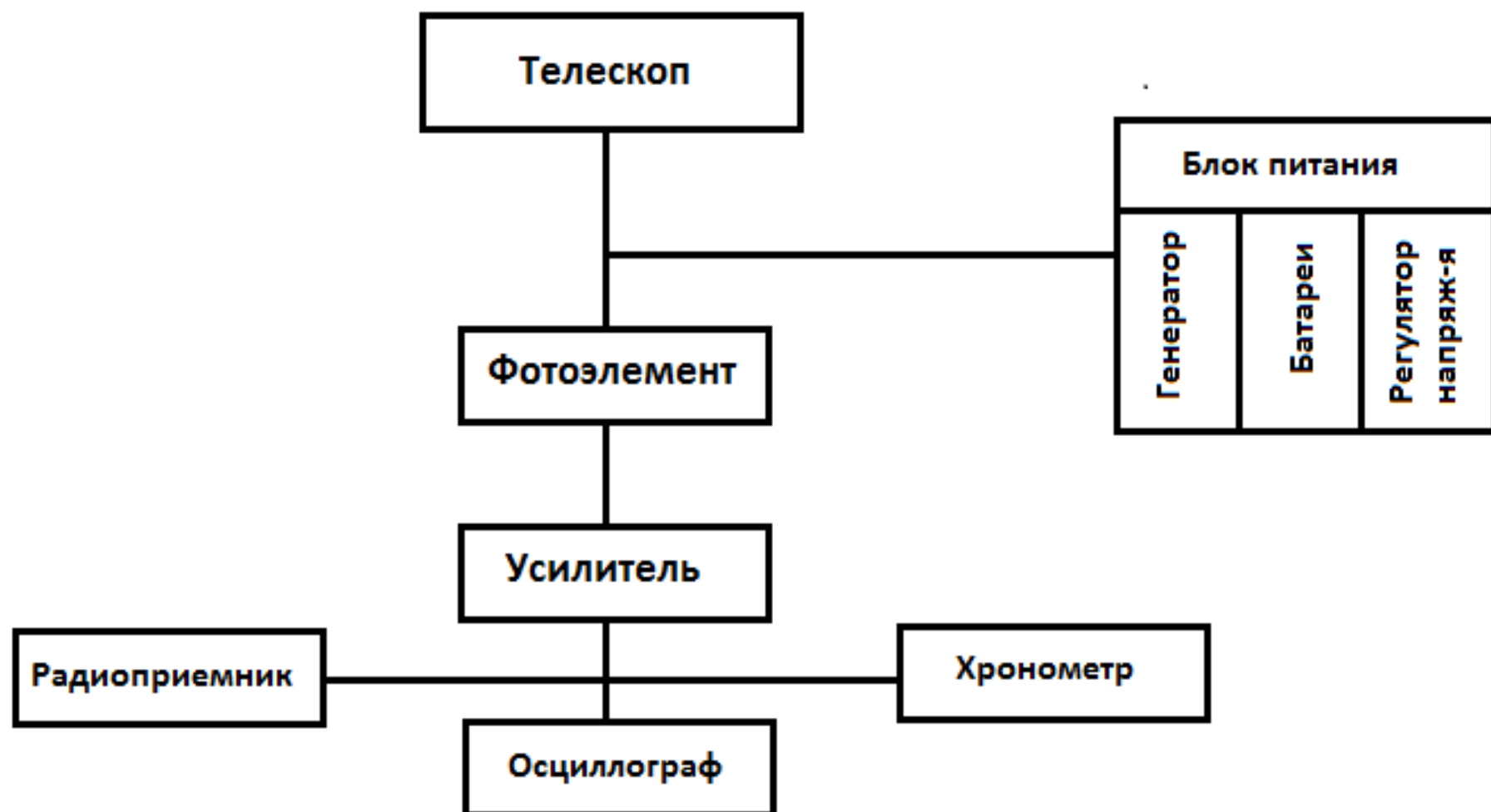
Главный недостаток – невозможность достижения высокой точности;

✓ Фотоэлектрический (использование фотоэлемента в соединении с телескопом)

Дает возможность фиксировать покрытия звезд до девятой величины с точностью до $0^s,001$

Регистрация времени производится по атомному эталону с использованием служб времени.

Блок-схема установки для фотоэлектрического метода наблюдений покрытий



ИСТОЧНИКИ ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЛУННЫХ ПОКРЫТИЙ

- базы наблюдений до 80-х годов, созданные с 40-х годов Морисоном;
- базы наблюдений с 1980 по 1995 гг., только в печатном виде (создана в электронном виде выборкой ручным способом из 130094 покрытий);
- базы наблюдений с 1995г. по 2005г. (взяты в электронном виде);

Данные наблюдений с 1980г. по 2005г. взяты из международного каталога International Lunar Occultation Center (ILOCC), составленная из данных наблюдателей со всего мира.

PH : First character shows the phenomenon.

Source cat. : Reference number in the source catalogue. The following abbreviations are

H : HIPPARCOS catalogue,
T : TYCO-2 catalogue,
F : FK6 catalogue,
P : PPM catalogue,
S : the SAO Catalogue,
R : the Robertson Zodiacal Catalogue (Z.C.).

D : disappearance,
R : reappearance,
F : flash,
B : blink.

Second character shows the lunar limb.

D : dark limb event,
B : bright limb event,
G : grazing event,
U : event during an eclipse of the Moon.

Исходный вариант каталога																
Date	Time(UTC)	Age	Mag	Star	PH	STN	TEL	OBS	REC	O-C	WH	K-R	K	USNO	SAO	DM
1	1	1	28	37.4	6.3	6.4	S	146729	DO SF111	1	1	1	0.19	1.29	358.4	67.5 X 31616 146729 -10 6120
1	1	2	49	37.81	6.4	8.9	S	146738	DO TB116	1	1	1	0.50	-0.82	323.2	32.1 X 31629 146738 - 9 6202
1	1	9	10	39.83	6.7	8.8	K	31849	DO TOL44	1	1	1	0.37	0.52	316.9	25.5 X 31849 146857 - 8 6175
1	1	9	19	52.5	6.7	8.8	S	146857	DO TOG81	5	1	1	0.43	0.22	315.7	24.2 X 31849 146857 - 8 6175
1	1	9	20	3.5	6.7	8.8	S	146857	DO TOG45	1	1	1	0.16	0.41	315.2	23.8 X 31849 146857 - 8 6175
1	1	9	27	30.6	6.7	8.8	D-8	6175	DO TO198	2	1	0	0.37	-0.50	323.5	32.0 X 31849 146857 - 8 6175
1	1	9	29	57.90	6.7	8.8	K	146857	DO SO294	6	1	1	-0.14	-0.15	322.2	30.8 X 31849 146857 - 8 6175
1	1	10	4	56.5	6.7	8.7	S	146869	DO TOG81	5	1	1	0.36	-0.23	301.8	10.3 X 31863 146869 - 8 6179
1	1	10	5	13.0	6.7	8.7	S	146869	DO TOG45	1	1	1	0.06	0.21	301.3	9.8 X 31863 146869 - 8 6179
1	1	10	9	40.8	6.7	8.7	D-8	6179	DO TO198	2	1	0	0.33	0.55	309.9	18.4 X 31863 146869 - 8 6179
1	1	10	12	9.10	6.7	8.7	S	146869	DO SO294	6	1	1	0.23	0.28	307.9	16.4 X 31863 146869 - 8 6179
1	1	16	40	17.1	7.0	8.8	S	146991	DO S2573	38	15	15	0.05	0.11	296.1	4.3 X 32109 146991 - 7 6115
1	1	18	28	45.8	7.0	6.7	K	32163	DO S2156	21	1	1	0.40	-0.36	304.9	12.9 X 32163 147017 - 6 6335
1	1	18	28	48.0	7.0	6.7	K	32163	DO S2156	23	36	36	-0.17	-0.37	304.9	13.0 X 32163 147017 - 6 6335
1	1	18	32	8.6	7.0	6.7	R	3529	DO S2556	4	1	1	0.50	-0.24	300.9	8.9 X 32163 147017 - 6 6335
1	1	18	34	45.7	7.1	6.7	R	3529	DO S2570	1	1	1	0.38	0.11	296.5	4.5 X 32163 147017 - 6 6335
1	1	18	36	26.8	7.1	6.7	R	3529	DO S2552	7	1	1	0.74	-0.75	287.6	355.6 X 32163 147017 - 6 6335
1	1	18	36	45.4	7.1	6.7	R	3529	DO S2587	1	5	5	0.27	-0.70	287.0	355.0 X 32163 147017 - 6 6335
1	1	18	37	44.8	7.1	8.1	K	32192	DO T1964	2	1	1	0.16	0.92	330.4	38.5 X 32192 147033 - 6 6342
1	1	18	41	48.6	7.1	8.1	K	32190	DO T1964	2	1	1	0.50	0.74	336.6	44.7 X 32190 147032 - 6 6341
1	1	18	59	40.0	7.1	4.6	S	147042	DO T1964	2	1	1	0.22	-0.03	25.1	93.2 X 32209 147042 - 6 6345
1	1	19	3	34.1	7.1	8.1	S	147033	DO S2584	12	1	1	1.38	-0.98*	341.7	49.7 X 32192 147033 - 6 6342
1	1	19	3	58.3	7.1	8.1	K	32192	DO S2156	21	1	1	0.92	-0.44*	346.7	54.8 X 32192 147033 - 6 6342
1	1	19	5	2.1	7.1	8.1	S	147033	DO S2556	4	1	1	0.59	0.29	343.6	51.6 X 32192 147033 - 6 6342
1	1	19	5	35.6	7.1	8.1	K	32190	DO S2156	21	1	1	0.63	-0.43*	336.6	44.6 X 32190 147032 - 6 6341
1	1	19	7	1.2	7.1	8.1	S	147032	DO S2556	4	1	1	0.66	-0.53*	333.3	41.3 X 32190 147032 - 6 6341
1	1	19	21	3.1	7.1	4.6	K	32209	DO S2678	3	1	0	0.50	0.14	39.5	107.6 X 32209 147042 - 6 6345
1	1	19	24	33.8	7.1	4.6	R	3536	DO S2587	1	5	5	0.44	1.09	29.1	97.2 X 32209 147042 - 6 6345

наш вариант каталога																
1	1	2	49	37.81	5			146738	DO TB116	1						
1	1	9	10	39.83	X			31849	DO TOL44	1						
1	1	9	29	57.90	X			146857	DO SO294	6						
1	1	10	12	9.10	X			146869	DO SO294	6						
1	2	9	41	28.90	X			569	DO TONLO	1						
1	2	9	45	43.30	X			128787	DO SO294	6						
1	2	10	43	42.50	X			128800	DO SO294	6						
1	2	10	49	27.60	X			128803	DO SO294	6						
1	3	2	9	51.57	X			109612	DO TB116	1						
1	3	9	58	28.80	X			1775	DO TONLO	1						
1	3	10	2	50.10	X			109783	DO SO294	6						
1	3	10	3	27.70	X			1782	DO TONLO	1						
1	3	10	6	27.10	X			109787	DO SO294	6						
1	3	11	20	44.80	X			109799	DO SO294	6						
1	3	12	25	44.80	X			109815	DO SO294	6						
1	3	18	22	46.20	X			2191	DO SU302	5						
1	3	19	53	46.06	X			2233	DO SU302	5						
1	3	21	2	12.90	X			2274	DO SU302	5						
1	4	1	58	28.67	X			110151	DO TB116	1						
1	4	2	39	40.77	X			110150	DO TB116	1						
1	4	3	56	24.35	X			110172	DO TB116	1						
1	4	5	7	50.29	X			110200	DO TB116	1						
1	4	9	54	38.26	X			110332	DO SO178	56						
1	4	10	2	56.40	X			110334	DO SO294	6						
1	4	10	8	42.90	X			110332	DO SO294	6						
1	4	11	8	24.93	X			110349	DO SO178	56						
1	4	11	15	2.26	X			110349	DO SO179	31						
1	4	11	21	5.50	X			110349	DO SO294	6						
1	4	11	28	8.38	X			2925	DO SO178	56						
1	4	11	33	6.75	X			110361	DO SO178	56						
1	4	11	38	51.10	X			2925	DO SO294	6						
1	4	11	48	7.30	X			110361	DO SO294	6						
1	4	12	0	38.06	X			110367	DO SO178	56						
1	4	12	11	18.85	X			110367	DO SO179	31						
1	4	12	13	23.60	X			110367	DO SO294	6						
1	4	13	29	10.40	X			110386	DO SO178	56						
1	5	2	30	29.52	X			93050	DO TB116	1						
1	5	3	28	7.32	X			93059	DO TB116	1						

Фрагмент базы за 1983 год

1 20 11 18 58.04 s 128889 dd so149 21
1 20 11 25 44.60 s 128889 dd so177 1
1 20 11 47 23.50 s 128899 dd so177 1
1 20 12 12 23.26 s 128901 dd so177 1
1 20 18 54 51.16 s 129029 dd su524 1
1 20 20 16 38.58 s 109552 dd su524 1
1 21 9 7 13.70 s 109870 dd so177 1
1 21 9 14 45.20 s 109870 dd so179 21
1 21 9 21 29.40 s 109875 dd so149 21
1 21 9 26 54.07 s 109875 dd so177 1
1 21 9 33 59.15 s 109875 dd so179 2

Фрагмент базы телескопов и их координат с которых производились наблюдения
SO177 1 E 135 56 22.69 N 33 34 26.97 63.1 SIMOSATO OBS.JAPAN 62 1000 CED
SO177 2 E 135 56 22.69 N 33 34 26.97 63.1 SIMOSATO OBS.JAPAN 15 225 RED
SO178 56 E 133 34 27.16 N 34 40 35.98 516 BISEI OBS.JAPAN 60 942 CED

Фрагмент базы с координатами наблюдателей

1995 1 5 9 12 9.43 S146077 DD E3427.16 N344035.98 516.0
1995 1 5 9 14 8.40 X30661 DD E5622.69 N333426.97 63.1
1995 1 5 9 17 45.27 S146077 DD E5920.39 N344246.65 172.1
1995 1 5 9 58 21.50 S146083 DD E5236.10 N343624.80 3.0
1995 1 5 10 1 12.02 R3290 DD E5622.69 N333426.97 63.1
1995 1 5 10 3 29.99 S146083 DD E5920.39 N344246.65 172.1
1995 1 5 10 3 48.52 S146085 DD E3427.16 N344035.98 516.0
1995 1 5 10 4 9.30 S146085 DD E5236.10 N343624.80 3.0
1995 1 5 10 7 16.35 X30680 DD E5622.69 N333426.97 63.1
1995 1 5 10 9 20.78 S146085 DD E5920.39 N344246.65 172.1
1995 1 6 9 23 28.44 S146590 DD E3427.16 N344035.98 516.0
1995 1 6 9 25 16.32 S146590 DD E5236.10 N343624.80 3.0
1995 1 7 9 12 44.91 S108985 DD E5920.39 N344246.65 172.1
1995 1 7 9 12 44.96 S108985 DD E5920.39 N344246.65 172.1
1995 1 7 11 10 36.92 S109004 DD E5920.39 N344246.65 172.1
1995 1 8 8 58 31.01 S109488 DD E5920.39 N344246.65 172.1
1995 1 8 10 51 26.12 S109517 DD E5236.10 N343624.80 3.0
1995 1 8 11 3 54.95 S109517 DD E5920.39 N344246.65 172.1
1995 1 9 11 57 29.46 X2367 DD E3427.16 N344035.98 516.0
1995 1 9 13 1 13.15 S92584 DD E5920.39 N344246.65 172.1
1995 1 9 13 37 8.86 S92602 DD E3427.16 N344035.98 516.0
1995 1 9 13 41 29.40 X2425 DD E5622.69 N333426.97 63.1

Идентификация звезд

SAO+ZC



PPM



PPM-HIPPARCOS (ИЛИ ДРУГОЙ КАТАЛОГ
ЗВЕЗДНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ)

Настоящая работа предполагает :

I. Построение общей базы данных фотоэлектрических покрытий ;



II. Редукция наблюдений и идентификация звезд;

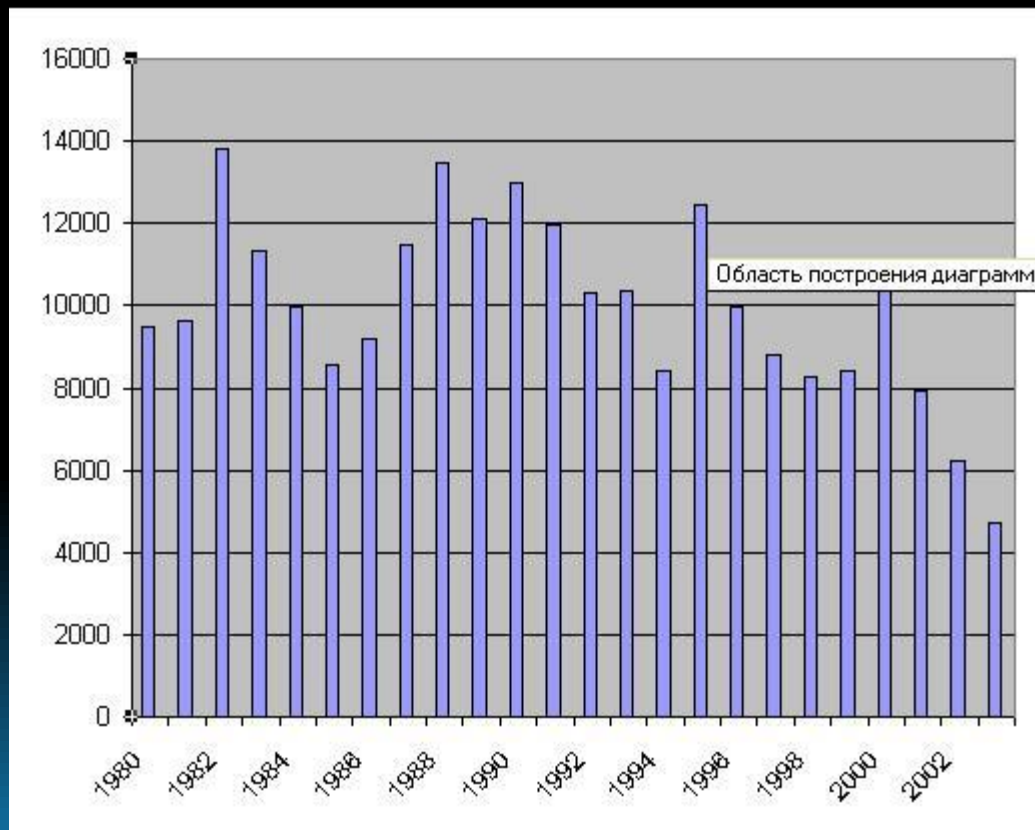


III. Построение селеноцентрической цифровой модели либрационной зоны Луны;



IV. Сравнительный анализ карт Казань с картами Уоттса.

Статистика наблюдений покрытий из серии каталогов *International Lunar Occultation Center (ILOCC)*



Учет поправок времени при редукции фотоэлектрических покрытий звезд Луной

Как известно, в качестве аргумента астрономических эфемерид используют равномерные шкалы времени. Недостатком эфемеридного времени является зависимость его от теории движения Луны, требующей исправлений и уточнений. В современных эфемеридах используется динамическое барицентрическое время TDB и динамическое земное время TDT. В теории DE 200/LE 200 и более поздних теориях DE407 и DE407 аргументом является TDB (земное динамическое барицентрическое время), с этим аргументом вычислены эфемериды планет. Выражение для TD (динамическое время) обеспечивает интерполяцию эфемериды с достаточной точностью, чтобы вычислить позиционный угол с ошибкой меньше , чем этого достаточно для получения точного положения точки профиля Луны для вычислений поправки за неровности лунного края.

Все времена в данных наблюдений фотоэлектрических покрытий даются в системе UTC (шкала всемирного координированного времени), которые переводятся в UT1 с помощью табличных значений:

$$(TAI - UTC) = a .$$

$$TDT - TAI = 32.184^s.$$

Где TAI шкалы международного атомного времени . При вычислениях параллакса Луны часовой угол вычисляется по аргументу UT1. Разности UT1 – UTC даются в сообщениях Международного Бюро Времени.

Учет поправок времени при редукции фотоэлектрических покрытий звезд Луной

Значения параметра a	
Период	Значение параметра a в секундах
1972 январь1 – 1972 июнь 30	10
1976 январь 1 - 1976 декабрь 31	15
1972 июль1 – 1972 декабрь 31	11
1977 январь 1 – 1977 декабрь 31	16
1973 январь 1 – 1973 декабрь 31	12
1978 январь 1 – 1978 декабрь 31	17
1974 январь 1 - 1974 декабрь 31	13
1979 январь 1 – 1979 декабрь 31	18
1975 январь 1 – 1975 декабрь 31	14
1980 январь 1 – 1980 декабрь 31	19

Вышеописанные преобразования использовались нами при редукции базы данных покрытий звезд Луной.

Либрационная зона Луны

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». Наиболее подробными являются карты Уоттса. Однако, система координат данных этих карт не совпадает с фундаментальной звездной системой.

Нами проведены работы по построению карт либрационной зоны Луны на основе использования фотоэлектрических покрытий звезд Луной и динамической модели краевой зоны Луны «Казань».

Как показали исследования, в отличие от всех предыдущих карт, созданных в мировой практике, только в картах краевой зоны «Казань» поверхность отсчета неровностей лунного края наиболее близко отнесена к фундаментальной небесной системе координат, эфемеридному центру масс Луны и ее главным осям инерции.

Созданная модель либрационной зоны Луны позволит использовать ее при трансформации опорных селеноцентрических систем видимой и обратной сторон нашего естественного спутника и построения в итоге глобальной навигационной системы динамических координат, то есть отнесенных к центру масс и осям инерции Луны.

Создание карт либрационной зоны Луны

В Казани традиционно проводятся исследования по изучению фигуры и вращения Луны, в том числе и работы по построению карт либрационной зоны различными методами. Итогом данной работы стало построение карт краевой зоны Луны принципиально новым способом. Они основаны на фотоэлектрических покрытиях. В отличие от всех остальных карт измеренные точки лимба Луны были отнесены к фундаментальной небесной системе координат, эфемеридному центру масс Луны и ее главным осям инерции.

Таким образом, масштаб, ориентация и нуль – пункт системы координат карт определялись «абсолютным» методом, а не относительным как при построении других карт краевой зоны Луны.

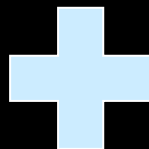
Все данные этих карт были внесены в компьютер согласно их гайновским координатам P и D . При этом производился двойной контроль для исключения ошибок. Во – первых, определялось соответствие результатов, вносимых в компьютер, непосредственно с данными самих карт – P, D, H . Во – вторых, производилось сравнение высот в этих картах и на картах Уоттса.

Для нахождения высотных данных с полученных нами карт в цифровом виде сначала вычисляются гайновские координаты – P, D и затем вычисляется высота H над средним радиусом Луны .

Подпрограмма интерполяции данных с наших карт в машинно-читаемом виде написана на Фортране. Сначала восстанавливаются с диска все данные для всех точек неровностей лунного края, входящих в границы интерполяционного круга, центром которого является точка, для которой определяется поправка за высоту. Причем радиус круга зависит от того, как распределяются в окрестности исследуемой точки данные карт. То есть учитывается количество и равномерность распределения этих точек вокруг исследуемой точки.

Карты либрационной зоны Луны

Вычисление
селеноцентрических координат
точек покрытия в
либрационной зоне Луны



Метод решения
задачи привязки
точки покрытия к
гайновским
координатам

Определение координат точек на картах по покрытиям на основе
вычисленных значений R_m, λ_m, β_m

$$\begin{pmatrix} \rho_0 \sin D_0 \\ -\rho_0 \cos D_0 \sin P_0 \\ \rho_0 \cos D_0 \cos P_0 \end{pmatrix} = R_m \begin{pmatrix} \sin \lambda_m \cos \beta_m \\ \sin \beta_m \\ \cos \lambda_m \cos \beta_m \end{pmatrix}$$

ρ_0 - приближенный селеноцентрический радиус - вектор точки лунной поверхности

R_m, λ_m, β_m - радиус-вектор, селенографические долгота и широта

Создание карт либрационной зоны Луны

Алгоритм решения задачи следующий:

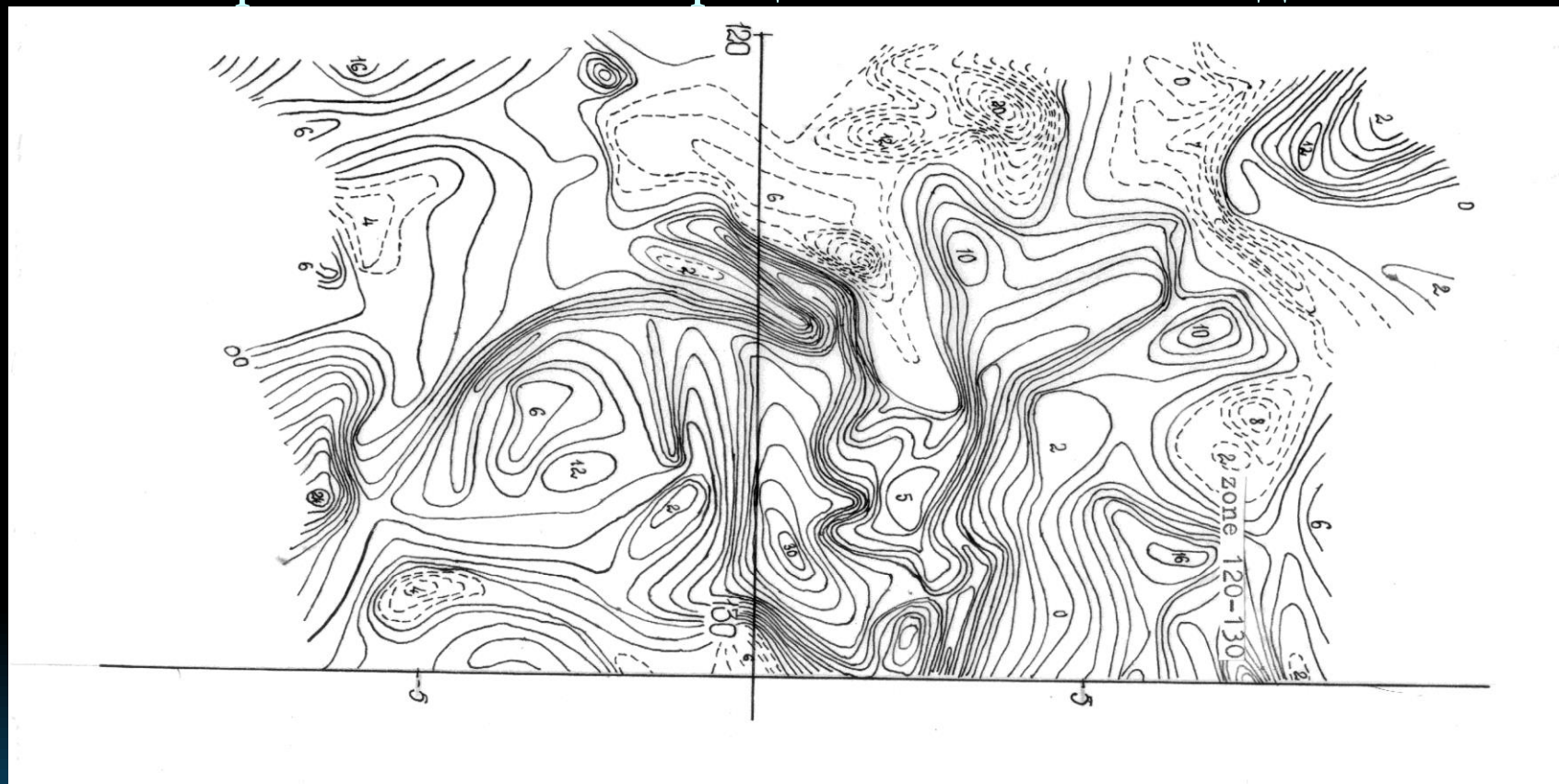


Программный алгоритм определения высот по цифровым картам либрационной зоны Луны

$$H_j = \sum_{k=1}^m (P_k(h_k / d_k)) / \sum (1 / d_k),$$

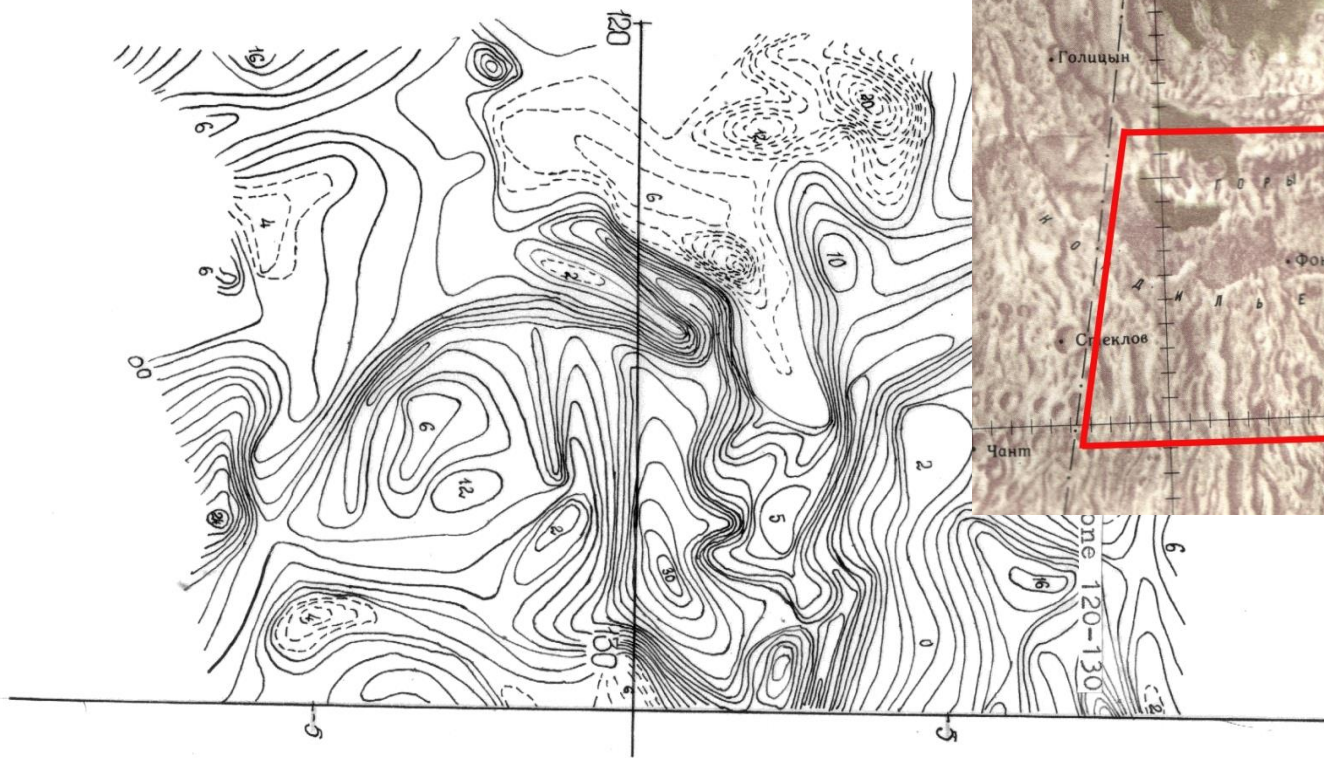
h_k - высота точки на картах; d_k - ее расстояние от центра интерполяции круга; H_j - интерполируемая высота исследуемой точки; k соответствует количеству точек в секторах; P_k - вес определения H_j

Карта либрационной зоны Луны, построенная на основе фотоэлектрических покрытий и привязки точек либрационной зоны к звездам

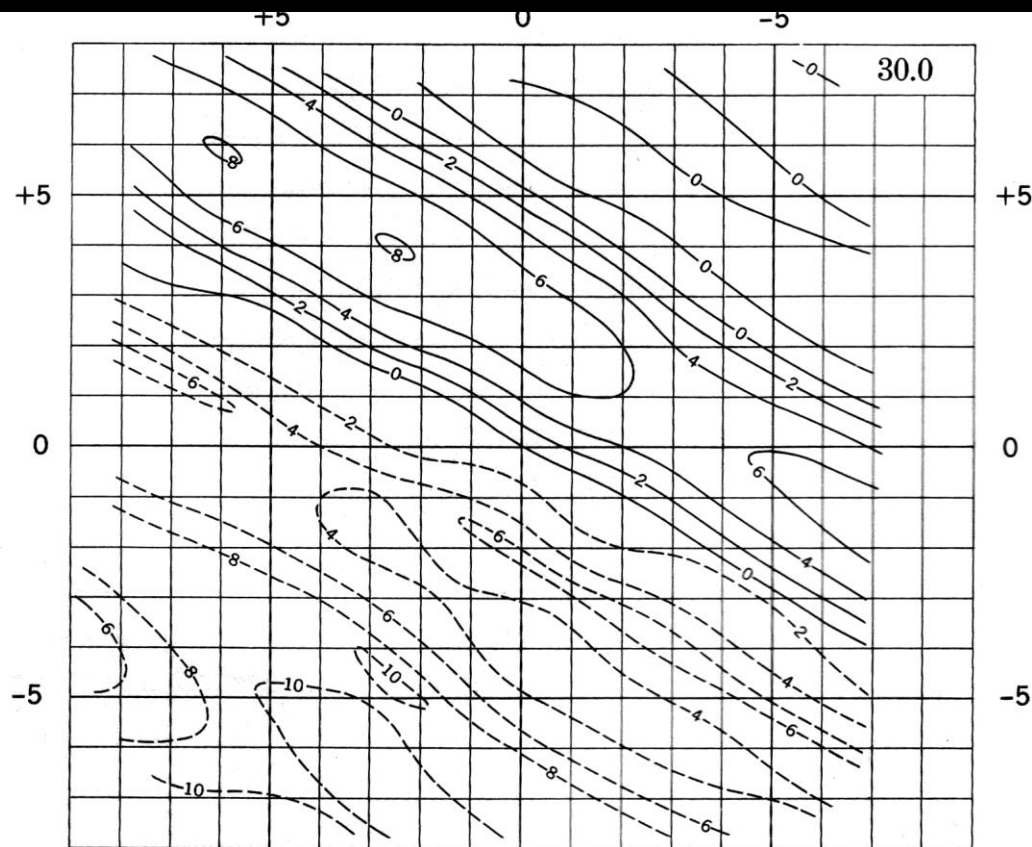


На карте представлены изогипсы через 0.2" по высоте в угловой мере (высотные данные на карте необходимо умножить на 0,1) или приблизительно через 370 метров по высоте. По вертикали гайнская координата P, по горизонтали D

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

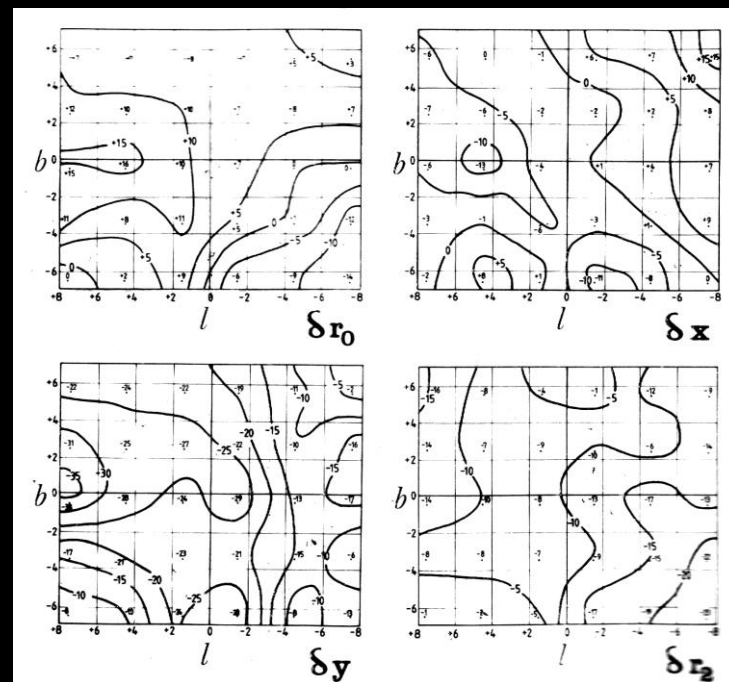
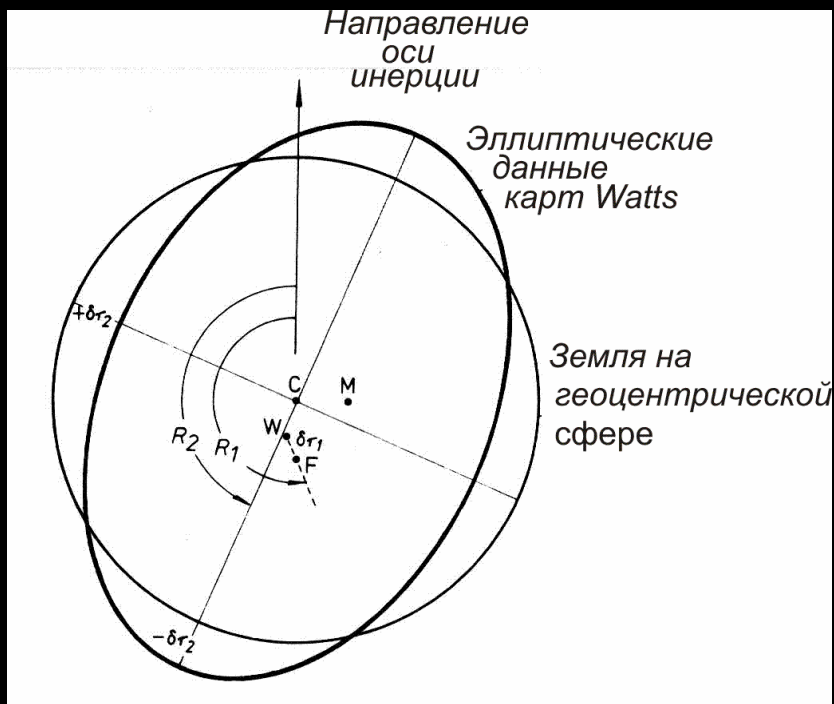


Карта либрационной зоны Луны, построенная Уоттсом



На карте представлены изогипсы по горизонтали либрации по долготе и по вертикали либрации по широте

Сравнение карт либрационной зоны Луны «Казань» и построенной Уоттсом



На карте представлены изогипсы вариаций между картами (по горизонтали либрации по долготе и по вертикали либрации по широте). С – центр масс Луны, W-центр среднего профиля в картах Уоттса, он ближе к F (центр фигуры), чем к С, δr_0 - поправка к положению центра карт Уоттса и центра фигуры Луны, δx - поправка к лунной долготе, δy - поправка к лунной широте, δr_2 - поправка эллиптичности. Поправки по долготе и широте означают, что означает, что центр карт Уоттса необходимо сдвинуть по долготе и широте при данных значениях либраций, чтобы он совпал с центром масс

Исследование карт либрационной зоны Луны на основе сравнительного анализа

Map	ΔR_m	σ	ΔL
N	-0.281''	0.604	0.70''
W	-0.001	0.557	0.61
Ch	-0.177	0.785	0.61
Казань	-0.004	0.593	0.10

$$\Delta R = (R - 932.58'')$$

ΔL -отклонение долготы
центра карт от центра
масс Луны

ΔR_m – средние отклонения
радиусов карт; σ – их ср.кв.ошибка

932.58'' – средний радиус Луны
N - карты А.А.Нефедьева
W - карты Уоттса
Ch - карты И.Г.Чугунова

Заключение

1. Построена и редуцирована База наблюдений фотоэлектрических покрытий звезд Луной;
2. Разработаны алгоритмы учета основных параметров для редукции фотоэлектрических покрытий;
3. Произведена идентификация покрываемых звезд;
4. Создан точный метод и применен на практике для точного учета поправок из-за неровности лунного края;
5. Разработан новый метод для построения карт либрационной зоны Луны по фотоэлектрическим наблюдениям покрытий звезд Луной;
6. Проведены работы по построению карт либрационной зоны Луны «Казань» на основе использования фотоэлектрическим наблюдениям покрытий звезд Луной
7. Определены сравнительные параметры между картами «Казань» и Уоттса;
8. Проведен анализ точности существующих карт либрационной зоны.

Перспективное использование фотоэлектрических покрытий звезд Луной: учет приливного члена в средней долготе Луны по наблюдениям покрытий

Приливной член в средней долготе Луны появляется по той причине, что Луна не является абсолютно твердым телом. Из наблюдений многими авторами находились различные значения приливного члена. В национальной эфемериде 1983 года оно было взято равным $-11.22''t^2$, найденное Спенсером Джонсом из сравнения положений Луны и внутренних планет, Моррисон и Ворд получили значение $(-13'' \pm 1'')t^2$ из анализа покрытий и прохождения Меркурия. Из анализа лазерных наблюдений Луны получили значение, близкое к $-12''t^2$.

Сома составил условные уравнения с включением в них приливного члена и получил при решении значение приливного члена равное $(-8.3'' \pm 0.5'')t^2$. Исследования показали, что имеется высокая корреляция между неизвестными уравнений, линейными и квадратичными членами (до 0.95). Сома считал, что такую корреляцию можно частично объяснить тем, что неизвестные получены для эпохи J 2000.0, а средняя эпоха наблюдений - 1969 год. Он также считал, что наблюдения покрытий и лазерные наблюдения дают согласующиеся значения приливного члена. Полученные большие значения приливного члена объясняются некорректностью теории движения Луны, а также тем, что не были учтены некоторые члены, зависящие от влияния планет.

На основе использования современной теории движения Луны и базы данных фотоэлектрических покрытий звезд Луной планируется уточнить значение приливного члена в средней долготе Луны.



Большое спасибо за внимание!