

К-14038  
П2 20 666

МИНИСТЕРСТВО  
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

---

**ВЕСТНИК**  
**ХАРЬКОВСКОГО**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**УНИВЕРСИТЕТА**

№ 4

СЕРИЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ

ВЫПУСК 1

ИЗДАТЕЛЬСТВО ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Цена 89 коп.

V.N. Karazin Kharkiv National University



5

00195712

OFFICE OF THE  
TREASURER  
OF THE STATE

RECEIVED

1862

STATE OF NEW YORK

МИНИСТЕРСТВО  
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

---

ВЕСТНИК  
ХАРЬКОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

№ 4

СЕРИЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ

ВЫПУСК 1



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ХАРЬКОВСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА им. А. М. ГОРЬКОГО  
Харьков 1965

ПЕРЕЧЕНЬ  
ИЗМЕНЕНИИ В НАЗВАНИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИИ  
ХАРЬКОВСКОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

- Тт. 1—6. Публікації Харківської астрономічної обсерваторії.  
Т. 7. Публікації астрономічної обсерваторії.  
Т. 8. Ученые записки ХГУ (т. 28). Публикации астрономической обсерватории.  
Тт. 9—11 (тт. 1—3), 12, 13, 14. Ученые записки ХГУ (тт. 36, 42, 55, 91, 86, 122). Труды астрономической обсерватории ХГУ.

---

Редакционная коллегия

Доц. В. И. Езерский (ответственный редактор),  
доц. К. Н. Кузьменко (секретарь), доц. В. Х. Плужников,  
канд. физ-матем. наук А. Т. Чекирда.

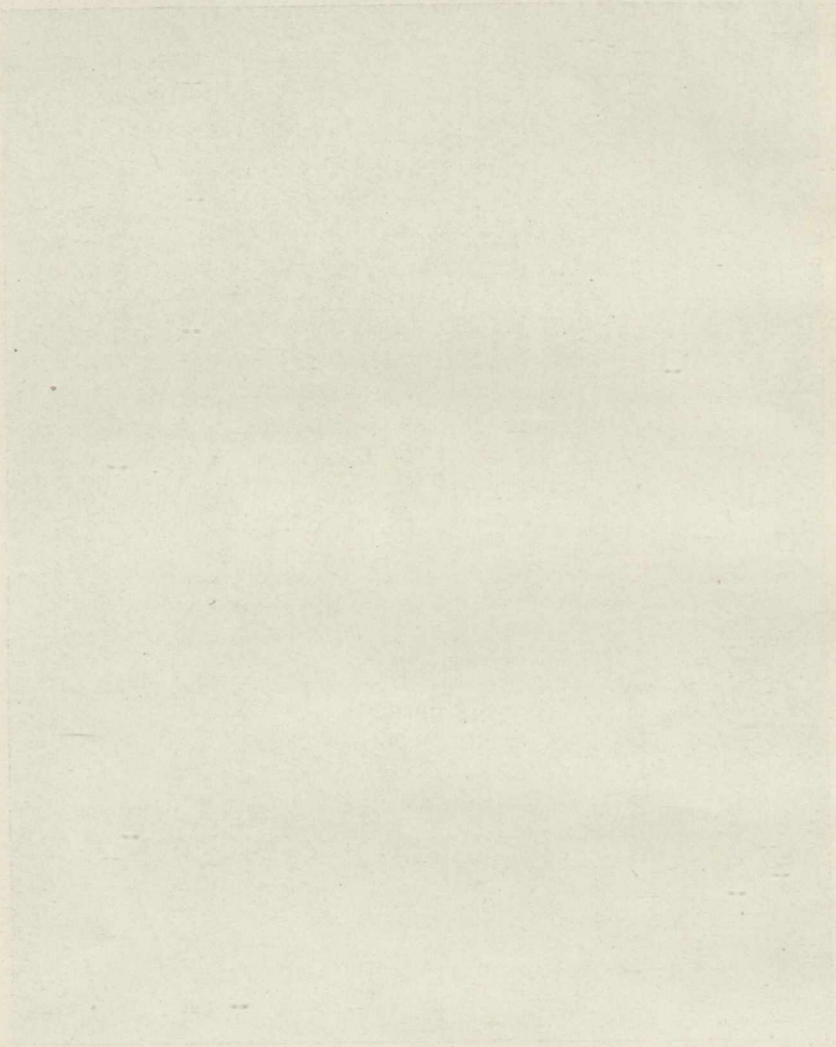


*Академику АН УССР, заслуженному деятелю  
науки УССР, доктору физико-математических  
наук, профессору*

**НИКОЛАЮ ПАВЛОВИЧУ БАРАБАШОВУ**

к 70-летию со дня его рождения и 50-летию научной,  
педагогической и общественной деятельности

*Ученики и сотрудники*



THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY  
540 EAST 57TH STREET  
CHICAGO, ILL. 60637  
TEL: 773-936-3000  
WWW.CHICAGO.EDU

## ПЯТЬДЕСЯТ ЛЕТ БЕЗЗАВЕТНОГО СЛУЖЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ НАУКЕ

(К 70-летию со дня рождения Н. П. Барабашова)

*А. И. Сластенёв*

30 марта 1964 г. исполнилось 70 лет одному из виднейших советских астрономов, известному общественному деятелю Николаю Павловичу Барабашову. Ученый-большевик отдал более 50 лет жизни напряженной творческой научной работе и общественно-политической деятельности.

Н. П. Барабашов родился в г. Харькове в 1894 г. в семье профессора-медика. После окончания 1-й Харьковской гимназии в 1912 г. он поступил на физико-математический факультет Юрьевского университета. Однако вскоре юноша заболел туберкулезом легких и, бросив учебу, вынужден был выехать на лечение в Италию, в город Сан-Ремо. Началась борьба с тяжелым недугом. Врачи не надеялись на благополучный исход. Молодой неокрепший организм, открытая тяжелая форма туберкулеза, отсутствие совершенных средств лечения... Больного увезли в Россию в тяжелом состоянии, но ему все же удалось побороть болезнь. Несколько оправившись от нее, Н. П. Барабашов поступил в 1914 г. в Харьковский университет на физико-математический факультет.

Интерес к астрономии и ко всему, что связано с астрономическими наблюдениями, изготовлением астрономических инструментов, пробудился у Николая Павловича еще в детские годы. «Я пытался строить все своими руками, когда мне было 10—12 лет, — говорит Николай Павлович. — И прежде всего интересовался постройкой телескопа. Изготовить телескоп самому — было моей мечтой».

В 1919 г., после окончания университета Н. П. Барабашов был оставлен при кафедре астрономии для приготовления к профессорскому званию. С этого времени он начал работать на Астрономической обсерватории и в 1930 г., после ухода с поста директора проф. Н. Н. Евдокимова, Н. П. Барабашов был назначен директором Харьковской астрономической обсерватории, которой руководит и до настоящего времени.

С возобновлением деятельности университета в 1933 г. создана кафедра астрономии, заведующим которой был назначен проф. Н. П. Барабашов. И до настоящего времени, уже свыше 30 лет, он руководит этой кафедрой.

В 1936 г. Н. П. Барабашову присуждена степень доктора физико-математических наук без защиты диссертации по совокупности научных работ, а в 1941 г. за плодотворную научную деятельность Президиум Верховного Совета УССР присвоил Н. П. Барабашову почетное звание заслуженного деятеля науки.

В 1943 г., непосредственно после освобождения Харькова от немецко-фашистских захватчиков, Н. П. Барабашов был назначен ректором

Харьковского государственного университета им. А. М. Горького. Тяжелая, напряженная работа по восстановлению университета отразилась на состоянии его здоровья, началась вторая схватка за жизнь с тяжелой болезнью. Но вновь победила сила духа, воля человека. Николай Павлович вернулся к своей любимой работе. В 1948 г. он был избран действительным членом АН УССР.

Н. П. Барабашов в течение семнадцати лет руководил работой Планетной комиссии Астрономического Совета АН СССР, будучи ее председателем. Он много лет является председателем Астрономического Совета АН УССР, который координирует и направляет работу астрономических учреждений Украины.

Н. П. Барабашов — член Международного Астрономического Союза, он принимает активное участие в работе Комиссии по исследованию условий на Луне и планетах и подкомиссии по природе лунной поверхности.

\* \* \*

Н. П. Барабашов — выдающийся астрофизик. Своими многочисленными исследованиями и открытиями он внес большой вклад в развитие астрономии. Общий список работ ученого содержит около 500 названий. Свою научную деятельность он начал в 1912 г., будучи еще гимназистом. В 1912—1915 гг. в журнале французского астрономического общества «Астрономия» и в «Известиях русского общества любителей мирозведения» были опубликованы первые результаты проведенных им наблюдений Луны, планет и Солнца.

Основные усилия в своей научной деятельности он направил на изучение физической природы Луны и планет. Эти исследования принесли ученому мировую известность, авторитет руководимой им Харьковской астрономической обсерватории.

Для исследований физической природы планет и спутников Н. П. Барабашов широко применил метод фотографической фотометрии. В связи с этим был выполнен ряд работ по исследованию некоторых свойств фотографических эмульсий, а также по разработке самой методики фотографической фотометрии.

В этих работах исследовалось влияние температуры проявления на характеристическую кривую фотографической пластинки, а также изучался аккумулятивный эффект фотографических пластинок.

Большой интерес представляет введенный в практику фотометрии способ фотографирования искусственной планеты для исключения влияния краевых эффектов на диске изображения планеты. Можно отметить, что в дальнейшем этот способ применялся и другими авторами, например, Е. Плечке при фотографической фотометрии Юпитера. Очень интересен результат изучения так называемого эффекта Райта. В ряде работ Н. П. Барабашов убедительно показал, что отмеченное Райтом различие диаметров фотографического изображения Марса в синих и красных лучах определяется, главным образом, недостаточностью фотографической широты эмульсии для охвата градации яркости на диске Марса в красных лучах.

Особое место в работах ученого занимают исследования лунной поверхности, начатые им еще в 1918 г. в связи с определением альбедо земного шара. Изучив особенности отражательных свойств лунных морей, Николай Павлович пришел к важным заключениям, которые в дальнейшем получили название эффектов Барабашова. Было установлено, что максимум яркости любого участка моря, независимо от его расположения на диске, наступает вблизи полнолуния, когда  $\alpha \approx 0^\circ$ ,

$i \approx \varepsilon$ , т. е. когда луч падающий и луч отраженный от него идут почти в одном направлении. Кроме того, оказалось, что в полнолуние участки лунных морей с одинаковым альбедо имеют и одинаковую яркость.

В этой же работе по изучению структуры микрорельефа лунной поверхности Николай Павлович провел теоретические расчеты, показавшие, что особенности отражения света от лунных морей могут быть объяснены предположением, что поверхность их не гладкая, а весьма пористая, покрыта многочисленными углублениями. Первоначально была рассмотрена модель вертикальных бесконечно глубоких трещин. Интересно отметить, что величина пористости (доля площади, занятой порами), полученная в первой работе из сопоставления наблюдений с теоретическими расчетами, оказалась равной примерно 0,8, что в общем весьма близко к определениям, проведенным позже как фотометрическим, так и другими методами. Впоследствии А. В. Марков, как известно, показал, что горные области Луны обладают такими же фотометрическими свойствами, а следовательно, имеют и такой же характер микрорельефа.

Вслед за работой 1918 г., опубликованной в журнале «Astronomischen Nachrichten», в 1923 г. последовали многочисленные работы Н. П. Барабашова и его сотрудников по детальной фотометрии лунной поверхности. Достаточно сказать, что наиболее полный фотометрический каталог лунной поверхности, включающий 172 детали, пронаблюденных при 40 значениях угла фазы, выполнен под руководством Н. П. Барабашова его аспиранткой В. А. Федорен. Анализ столь обширных фотометрических данных позволил установить высокую степень фотометрической однородности лунной поверхности. В частности, удалось показать, что светлые лучи принимают структуру тех областей, через которые они проходят. Статистическое рассмотрение всей совокупности материалов харьковского фотометрического каталога дало возможность получить закон отражения от фотометрически средней лунной поверхности. Выявлены детали, которые более существенно отличаются по фотометрическим особенностям и, возможно, состоят не только из пористого вещества, но также из скальных образований. Чрезвычайно интересно, что многие из этих деталей показывают некоторые тепловые аномалии, также свидетельствующие о заметном различии структуры.

Следует еще упомянуть, что Николай Павлович, анализируя данные харьковского фотометрического каталога, рассмотрел вопрос о зависимости яркости лунных деталей от разности азимутов падающего и отраженного лучей.

Н. П. Барабашов является автором интересных работ по поляриметрии и колориметрии лунной поверхности, в которых открыты важные свойства. Так, в 1923 г. ученый установил, что максимум кривой поляризации лунных участков размыт настолько, что по его положению нельзя производить отождествление с горными породами, как это делал Ландерер. В результате исследований образцов горных пород установлено, что с увеличением шероховатости максимум поляризации уменьшается и становится более размытым.

Колориметрические исследования показали наличие реальных различий цвета порядка  $0^m,2 \div 0^m,3$  в шкале обычных показателей цвета, а также некоторые систематические различия цвета морей и материков. Интересно также и удачные опыты по фотографированию Луны на цветной пленке.

Для окончательного суждения о природе и свойствах вещества наружного покрова лунной поверхности производились сопоставления

с земными горными породами по многим характеристикам (альбедо, показателю цвета, индикатрисе отражения, степени поляризации, положению максимума поляризации и др.), а также с образцами, подвергнутыми воздействию ультрафиолетовых лучей, рентгеновских лучей и протонных пучков в вакууме.

В своих последних работах Николай Павлович приходит к выводу, что лунная поверхность покрыта, по всей вероятности, туфообразными горными породами в сильно раздробленном состоянии с зернами, размеры которых составляют  $3\div 10$  м.

Детальная фотометрия Венеры, проведенная Н. П. Барабашовым, дала значительную информацию об этой планете, природа которой во многом еще остается загадочной. Исследования распределения яркости по диску Венеры, как известно, выявили интересную особенность: так называемый зеркальный характер отражения света. Оказалось, что максимум яркости имеет тот участок диска планеты, для которого угол падения  $i$  равен углу отражения  $e$ , и они лежат по разные стороны от нормали.

Интерпретация этой особенности весьма сложна. Отчасти она может быть вызвана наличием в облачном слое Венеры ледяных кристалликов. Возможно также влияние отражения света от поверхности водоемов, наличие которых можно предположить. Нельзя не учитывать также и того обстоятельства, что при многократном рассеянии света достаточно крупными частицами могут возникнуть эффекты, которые носят «квазизеркальный характер».

Открыта зависимость показателя цвета Венеры от угла фазы. Проведенные позже фотоэлектрические измерения блеска Венеры в системе  $U, B, V$  Наклесом и Синтоном подтвердили наличие этой зависимости. На основании визуальной фазовой кривой блеска Венеры, полученной Данжоном, определена индикатриса рассеяния света в атмосфере Венеры, что дало возможность оценить размер частиц, входящих в состав облачного слоя Венеры ( $2\div 5$  мк).

Анализируя фотометрические данные о распределении яркости по диску Венеры, Н. П. Барабашов показал, что оптическая толщина атмосферного слоя, расположенного над облачным покровом,  $\tau \leq 0,07$ , что хорошо согласуется с определениями этой величины другими методами.

Ученый разносторонне и глубоко исследовал Марс. Полученные им результаты в значительной мере способствовали прогрессу представлений о природе этой планеты.

Детальная фотографическая фотометрия диска Марса через различные светофильтры была проведена Н. П. Барабашовым еще в 1933 г. и непрерывно расширялась и углублялась в последующие годы. Анализ фотометрических данных на основании теории рассеяния света в планетных атмосферах позволил определить основные оптические параметры: оптическую толщину атмосферы, альбедо различных образований.

Установлено, в частности, что поверхность светлых областей отражает свет по закону Ламберта и что она, следовательно, гладкая, покрыта мелким песком.

Темные области обладают несколько иным законом отражения, для них так называемый фактор гладкости  $q \approx 0,5$ , что свидетельствует об их изрытости.

Очень подробно Н. П. Барабашов изучил вопрос о цвете различных образований на Марсе. Оказалось, что темные области Марса также имеют в общем красноватый цвет, но только более слабый, чем

светлые области. Только в отдельных участках марсианских морей встречаются зеленоватые и голубоватые участки.

Очень много внимания ученый уделил вопросу о соотношении чистого рассеяния и истинного поглощения в марсианской атмосфере. В ряде работ он убедительно доказал, что истинное поглощение играет заметную роль только в ультрафиолетовой части спектра и что оптическая толщина атмосферы Марса в видимой части спектра невелика. Фотометрические исследования дали возможность определить также и атмосферное давление у поверхности Марса, которое по наблюдениям 1933 года оказалось равным 37 мм рт. ст. Оптическая толщина атмосферы Марса и соотношение газовой и пылевой компонент подвержены заметным изменениям, что проявляется в изменении распределения яркости по диску планеты. Оптическая толщина атмосферы в красных лучах меняется в пределах от 0,016 до 0,108.

Полярные шапки состоят из двух компонент: несплошного покрова на поверхности и расположенного над ним облачного образования. Одновременно с фотографическими наблюдениями Марса, Николай Павлович проводил и визуальные зарисовки Марса, на основании которых составил карту планеты, а также сделал ряд выводов о частоте появления в ее атмосфере тех или иных облачных образований.

Первые фотометрические исследования Юпитера Николай Павлович провел на основании фотографий, полученных по его просьбе на 40" рефлекторе Симеизской обсерватории Г. А. Шайном. Фотометрические наблюдения Юпитера проводились неоднократно и в последующие годы, что дало возможность выяснить весьма интересные свойства. Установлено, что распределение яркости по диску Юпитера во всех лучах почти одинаково. Слой атмосферы над облачным покровом довольно тонок. Светлые и темные полосы Юпитера лежат примерно на одной и той же высоте. Падение яркости к краю несколько меняется от года к году, что, возможно, связано с солнечной активностью.

Фотографическая фотометрия Сатурна проведена впервые на Харьковской астрономической обсерватории Н. П. Барабашовым в 1932 году. Из полученных результатов следует отметить вывод о том, что кольцо Сатурна простирается до самого шара планеты и что эта его часть должна состоять из очень мелких частиц, рассеивающих преимущественно коротковолновое излучение.

Многочисленные результаты исследований физической природы Луны и планет, полученные фотометрическим методом на Харьковской астрономической обсерватории, обобщены ученым в монографиях: «Исследования физических условий на Луне и планетах»; «Результаты фотометрических исследований Луны и планет на Харьковской астрономической обсерватории за 40 лет» и в обзорных статьях, например, «Фотометрические исследования микрорельефа лунной поверхности» и др.

Многие из результатов исследования физической природы Луны и планет, полученные Н. П. Барабашовым, в настоящее время приобретают непосредственное практическое значение в связи с началом космической эры, эпохи межпланетных путешествий.

Николай Павлович принимает активное участие в разработке отдельных вопросов, связанных с космонавтикой, методов исследований планет средствами космонавтики. Николай Павлович является одним из авторов и редакторов «Атласа обратной стороны Луны», составленного на основании обработки уникальных фотографий, полученных с борта советской автоматической межпланетной станции, запущенной 4 октября 1959 г.

Астросовет АН СССР неоднократно в своих решениях отмечал ведущее место Харьковской обсерватории, руководимой Н. П. Барабашовым, в исследовании физических условий на планетах и подчеркивал существенные ее успехи в области конструирования новых приборов. На ХАО проходят подготовку и стажирование в области планетоведения сотрудники и аспиранты других обсерваторий Советского Союза.

Н. П. Барабашов проявил себя и опытным конструктором астрономических инструментов. В 1917 г. он изготовил 10-дюймовый рефлектор, который был установлен на Харьковской астрономической обсерватории в 1931 г., а в 1935 г. передан в собственность Харьковского госуниверситета. Этот рефлектор является и до настоящего времени действующим инструментом.

Совместно с оптиком Н. Г. Пономаревым, Н. П. Барабашов сконструировал спектрогелиоскоп, установленный в 1935 году. Это был единственный в то время в СССР инструмент, изготовленный собственными силами. Впоследствии он был приспособлен к спектрогелиографическим исследованиям. За изготовление спектрогелиоскопа Наркомпрос УССР премировал Николая Павловича и ряд сотрудников ХАО.

Сейчас с помощью этого инструмента ведутся исследования солнечной активности, в том числе по программе Международного геофизического года и Международного года спокойного Солнца.

Свыше 50 лет жизни Николай Павлович посвятил педагогической деятельности. Он проявил себя как высокоэрудированный педагог-методист, излагающий материал доступно, понятно и увлекательно. Как лектор и научный руководитель Николай Павлович снискал заслуженное уважение среди товарищей по работе, аспирантов и студентов. За годы своей педагогической деятельности он воспитал сотни ученых, которые работают в различных городах Советского Союза, 28 из них защитили докторские и кандидатские диссертации. Многие из его учеников заведуют кафедрами в вузах и работают в научно-исследовательских институтах. И каждый из тех, кто слушал Николая Павловича или работал с ним, унес с собой теплые воспоминания о человеке красивой и многогранной души.

Н. П. Барабашов уделяет много внимания юным астрономам, в частности членам астрономического кружка Дворца пионеров. В 1935 г. на обсерватории работала группа студентов и пионеров, которая под руководством Николая Павловича планомерно проводила наблюдения планет и звезд. Из этой группы затем остались на работе в обсерватории астрофизики И. Тимошенко и В. Перцов. Они были ближайшими учениками Николая Павловича и оба погибли в боях, защищая Родину от фашистских захватчиков. В числе студентов, проявлявших большой интерес к занятиям астрофизикой, была и Ляля Убийвовк, ученица Николая Павловича, возглавившая в годы войны подпольную комсомольскую организацию в Полтаве, арестованная и замученная фашистами.

На протяжении всей своей трудовой деятельности Н. П. Барабашов принимает активное участие в общественно-политической жизни. Он неоднократно избирался членом обкома и горкома партии, депутатом областного и городского Советов депутатов трудящихся. С 1954 г. по 1962 г. Н. П. Барабашов избирался депутатом Верховного Совета СССР двух созывов. Научную и общественную работу он успешно сочетает с широкой популяризацией астрономических знаний. С первых же дней существования Советской власти Н. П. Барабашов выступал среди рабочих, красноармейцев и матросов с многочисленными лекци-

ями и докладами по астрономии. В качестве лектора Губполитпросвета он не раз читал в других городах и селах лекции антирелигиозного характера. В 1924 г. Николай Павлович организовал при Всеукраинском музее имени Артема Народную астрономическую обсерваторию, оборудовав ее инструментами и прежде всего изготовленным им самим телескопом. В этом музее он часто выступал с популярными лекциями по астрономии. При музее в 1923 г. был организован руководимый Николаем Павловичем кружок мироведения, который занимался систематическими наблюдениями переменных звезд. Из этого кружка вышел ряд научных сотрудников, в настоящее время успешно работающих в высших учебных заведениях страны.

Трудящиеся города Харькова и области знают Николая Павловича как талантливого лектора, прекрасного популяризатора советской науки. В последнее время в связи с запуском искусственных спутников Земли и успехами космонавтики в нашей стране лекции Николая Павловича вызывают особый интерес. Он охотно выступает перед любой аудиторией, перед рабочими на фабриках и заводах, перед партийно-комсомольским активом, студенчеством, воинами Советской армии, по радио и телевидению.

Библиографический список трудов Н. П. Барабашова включает свыше 500 научных статей, брошюр, учебных пособий, монографий, популярных статей в газетах и журналах нашей страны, зарубежных журналах. Перу Николая Павловича принадлежат статьи по самым различным вопросам астрономии.

В 1952 г. Н. П. Барабашов написал книгу «Борьба с идеализмом в области космогонических и космологических гипотез». В ней широко освещено развитие космогонических представлений, начиная с легенд древности и кончая стройными современными гипотезами выдающихся советских ученых. Вторым изданием эта книга, дополненная и расширенная, вышла в 1953 г. под названием «Развитие взглядов в области космогонии солнечной системы». В ней автор приводит новые данные о строении Вселенной, рассматривает современные космогонические гипотезы и разоблачает идеалистические спекуляции в области космологии. Книга помогает читателю разобраться в сложных философских проблемах современной космогонии. В ней последовательно излагаются материалистические космогонические гипотезы советских ученых В. Г. Фесенкова, В. А. Амбарцумяна, О. Ю. Шмидта.

В последнее время опубликовано несколько брошюр Н. П. Барабашова («Марс», «Венера», «О происхождении Земли и других небесных тел»), вызвавших огромный интерес. Книга «О происхождении Земли и других небесных тел», посвященная вопросам борьбы с идеализмом в области космогонии, переведена на ряд языков народов СССР и иностранных.

Десять лет назад в Харькове был создан планетарий, который ведет большую работу по популяризации знаний среди населения города, и, конечно же, большая заслуга в его создании принадлежит Николаю Павловичу. Он один из основателей общества «Знание» в Харькове.

Надо отметить еще одну форму популяризации ученым астрономических знаний. Это ответы через печать на многочисленные письма, которые ему пишут научные сотрудники, студенты, школьники, рабочие, колхозники, любители астрономии. Ответы на письма Н. П. Барабашов начал помещать в журналах с 1923 года. В журнале «Знание» он ведет отдел «Ответы на вопросы читателей», где помещает ежемесячные обзоры звездного неба и статьи о космогонических гипотезах, о природе

планет, их видимости, об изготовлении любительского телескопа и многие другие.

Работы Н. П. Барабашова получили широкую известность за границей. Харьковская астрономическая обсерватория ведет регулярный обмен изданиями более чем с 200 заграничными обсерваториями, а также со многими отечественными и зарубежными учеными. Переписка Н. П. Барабашова обширна. Вот например, письмо геолога В. Б. Неймана от 25 мая 1963 г., в котором он обращается к ученому с просьбой сообщить, нет ли у него более поздних, чем опубликованные в 1960 г., цветных снимков Луны. Он пишет: «...уже тот снимок, которым я пользуюсь, привел меня, как геолога, занимающегося селенологией, к интересным выводам. Вскоре буду рад послать свою вторую астрономическую работу».

А вот письмо А. А. Резника, председателя колхоза им. Карла Маркса, с Широка Балка, Белозерского района Херсонской области. Он пишет: «Я завжди з захопленням ловлю, прочитую Ваші змістовні статті, можливо тому, що змалку цікавлюсь астрономією. З учених ніхто більше за Вас не виступає так часто в газетах з такими популярними статтями. Не здивуйтеся, що я, голова колгоспу, раптом відірвався від колгоспної земної ідилії — корівників, півнової і залетів до сфери Вашої діяльності — в Космос. Колись в одній газеті я прочитав, що між Юпітером і Марсом мільйон років тому існувала планета Фаєтон, яка перестала існувати в результаті страшної катастрофи і розлетілась на шматки, створивши натомість пояс астероїдів. Чи може спіткати доля Фаєтона і нашу Землю у зв'язку з можливістю термоядерної війни? Чи могли б ці осколки принести на собі нам «спори» життя? Я з нетерпінням щодня чекатиму від Вас вичерпних відповідей на питання, які мене дуже цікавлять».

Инженер-пенсионер Н. Л. Краснов из г. Комсомольска, Ивановской обл., просит, чтобы ему сообщили о движении узлов лунной орбиты и способах перехода от экваториальных координат к горизонтальным. В конце письма он добавляет: «Удивительное совпадение! Едва я закончил это письмо, как в сегодняшнем номере «Известий» (от 2 июня 1963 г.) прочитал заметку («Исполняется на «Космовоксе») о Вас, о Вашем изобретении — электронном музыкальном инструменте, о Вашем втором после астрономии увлечении музыкой! Широта Ваших интересов и увлечение искусством побуждает меня от души поздравить Вас и пожелать Вам новых творческих успехов во всех занимающих Вас направлениях!»

И для каждого из этих писем Н. П. Барабашов находит время, энергию, чтобы внимательно изучить, обстоятельно ответить, посоветовать, рассказать, поделиться опытом. Особое внимание Николай Павлович уделяет школьникам, любителям астрономии. В каждом ответном письме он не только учит, но и воспитывает, дает советы. Вот одно из таких писем. Ученик 9 класса из с. Краснопавловки, Лозовского района, Харьковской области, Найденов Валерий пишет, что он создал гипотезу о происхождении Луны и излагает ее.

Николай Павлович отвечает: «Если ты действительно интересуешься астрономией и хочешь с пользой работать в этой области, то надо хорошо учиться, обращать особое внимание на математику, физику и астрономию».

Н. П. Барабашова всегда привлекала проблема межпланетных полетов. Он глубоко верил в торжество идей основоположника космонавтики К. Э. Циолковского, с которым переписывался и обменивался трудами. Николай Павлович пропагандировал идеи К. Э. Циолковско-

го. Так, еще в 1925 г. в статье о межпланетных полетах, опубликованной в журнале «Знание», Н. П. Барабашов писал: «Однако необходимо заметить, что теоретический вопрос о межпланетных путешествиях решается вполне, и те затруднения, которые могут при этом встретиться, вполне устранимы. Надо надеяться, что с помощью техники рано или поздно такие путешествия станут действительностью и люди будут переноситься с одной планеты на другую».

Н. П. Барабашов постоянно подчеркивал необходимость переноса обсерватории за пределы города Харькова, так как обсерватория, расположенная в саду имени Т. Г. Шевченко, не могла способствовать высокому качеству наблюдений (мешали электрический свет, пыль и колебания верхних слоев почвы).

Много энергии и труда вложил Н. П. Барабашов в осуществление плана строительства новой обсерватории. В конце 1934 года Нарком просвещения Украины В. П. Затонский лично ознакомился с работой обсерватории и на месте убедился в необходимости переноса ее за пределы города. Он посетил астрономическую обсерваторию, интересовался телескопическими наблюдениями звездного неба. Все объяснения давал Н. П. Барабашов, в то время уже директор астрономической обсерватории. В. П. Затонский был полностью согласен с планом постройки за городом новой астрономической обсерватории. По заданию СНК Украины харьковские астрономы во главе с Н. П. Барабашовым составили проект новой обсерватории. Этот проект был утвержден коллегией Наркомпроса и Госпланом Украины.

Место для расположения новой обсерватории было выбрано в 25 км от Харькова в районе ст. Водяное, на холме, похожем на Пулковский холм. Предполагалось, что на новой обсерватории будут производиться наблюдения, а вычислительные работы и библиотека останутся в Харькове. Новую астрономическую обсерваторию должны были оборудовать современными инструментами. Было запланировано установить на обсерватории 60-дюймовый рефлектор, 30-дюймовый рефрактор со спектрографом, спектрогелиоскоп для исследования атмосферы Солнца, пассажный инструмент и меридианный круг для определения положения звезд, были запланированы также жилой и лабораторный корпусы.

Технический проект новой Харьковской астрономической обсерватории был выполнен в Киеве под руководством архитектора А. Повстенко. В 1936 г. Н. П. Барабашов как директор обсерватории, а В. Г. Фесенков, как консультант были вызваны в Наркомат просвещения для доклада проекта новой обсерватории. В. П. Затонский согласился с представленным проектом. На постройку обсерватории были выделены первые ассигнования. Но по разным причинам строительство не было начато. Однако Н. П. Барабашов не оставил мысли о переносе обсерватории.

В 1960 г. астрономическая обсерватория получила новый планетный телескоп АЗТ-8 с зеркалом диаметром 700 мм, спектрограф к нему для фотографиярования спектров планет, лунно-планетную камеру и электрофотометр. Решили строить башню для нового телескопа за пределами Харькова. В настоящее время постройка этой башни уже закончена на специально отведенной территории. Сейчас приступили к установке и монтажу телескопа. Наблюдения на нем дадут возможность более глубоко и с еще большим эффектом производить исследования физических условий на Луне и планетах.

В сборнике «В человеке должно быть все прекрасно» (1963 г.) помещена статья, посвященная Николаю Павловичу Барабашову. «Часовой вселенной» — так образно назван в ней замечательный ученый — астроном. К такой справедливой характеристике хочется добавить слово «бдительный». «Бдительный часовой Вселенной» — эти слова верно характеризуют академика Н. П. Барабашова, 50 лет стоящего на боевом посту советской науки.

---

## О ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА ОТ ВИДИМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВЕНЕРЫ И ОБ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЕ АТМОСФЕРНОГО СЛОЯ НАД НЕЙ

*Н. П. Барабашов*

В настоящее время, в век космонавтики, очень важно знать физические условия на ближайших к нам планетах.

К сожалению, для Венеры мы имеем целый ряд моделей, а выбор той или иной из них связан с большими трудностями. Для выбора модели строения атмосферы Венеры чрезвычайно важно знать свойства ее облачного слоя и оптическую толщину атмосферного слоя над ним.

В основном существует три альтернативные модели строения атмосферы Венеры. В одной из них — парниковой — предполагается, что найденная путем радиоизмерений высокая температура ( $600^{\circ}\text{K}$ ) действительно представляет температуру поверхности планеты, поддерживаемую очень сильным парниковым эффектом [1].

Э. Эпик считает, что парниковая модель не состоятельна [2], и предлагает другую, в которой атмосфера ниже облаков представляет собой сухую и запыленную область. Он полагает, что ветры на Венере создают непрерывный пылевой ураган. Пылевые частицы, по его мнению, состоят, вероятно, из карбонатов кальция и магния в виде очень мелкого порошка, постоянно заполняющего атмосферу. В этой золосферной модели, как и в парниковой, много неясного, не позволяющего ее принять.

В ионосферной модели считается, что высокая температура ( $600^{\circ}\text{K}$ ) относится не к поверхности Венеры, а к ее ионосфере. Эта модель, как и две другие, обладает рядом серьезных недостатков и многого не объясняет.

Об атмосферном слое, лежащем над видимым облачным слоем Венеры, также существуют различные мнения.

Изучение свойств облачного слоя поможет подойти к решению вопроса о радиотемпературе.

В. В. Шаронов из наблюдений М. В. Ломоносова нашел, что для горизонтальной рефракции в атмосфере Венеры на уровне ее облачного слоя  $r = 20''$ . В обычных условиях эта величина колеблется в пределах  $15'' - 20''$  [3]. Ф. Линк получил величину  $r = 50''$  [4].

Теоретические подсчеты на основании температуры в  $+12^{\circ}\text{C}$ , установленной по полосам  $\text{CO}_2$ , дают для горизонтальной рефракции над облачным слоем, в случае наличия одной углекислоты, значение  $10'$ . Примесь других газов только увеличит эту величину. Отсюда видно, что эффект Ломоносова (если для рефракции принять среднее из определенных В. Шаронова и Ф. Линка —  $35''$ ) дает значение рефракции в 17 раз меньшее, чем теоретические расчеты.

Для решения вопроса о том, какова оптическая толщина атмосферы над облачным слоем Венеры и каков закон отражения света от облачного слоя, мы применили фотографический метод, воспользовавшись нашими прежними фотографическими наблюдениями Венеры.

Следует отметить, что Э. Шенберг в 1931 г. в работе «Исследования атмосферы планеты Венера» [5] попытался получить альbedo поверхности Венеры, а также коэффициент рассеяния и коэффициент поглощения света в ее атмосфере. Кроме того, он обнаружил, что число Лошмидта атмосферы Венеры составляет 0,7 земного. Далее он пришел к заключению, что атмосфера Венеры состоит в своих нижних частях из  $\text{CO}_2$ , а в верхних — из  $\text{H}_2$ .

Однако выводы Э. Шенберга ошибочны, во-первых, потому, что для объяснения закона отражения света от видимой поверхности Венеры он принимал закон Ламберта, который, как покажем дальше, в данном случае неприемлем. Использование Э. Шенбергом именно закона Ламберта объясняется тем, что он наблюдал небольшое число точек на диске и в тех местах, где эффект зеркальности, открытый нами в 1932 г., мало проявляется. Кроме того, Э. Шенберг определял рефракцию в атмосфере Венеры на основании удлинения рогов ее серпа, что совершенно недопустимо, так как удлинение рогов обусловлено не рефракционными, а сумеречными явлениями в атмосфере планеты, как наглядно показали В. Г. Фесенков и Б. Лио.

Дальнейшие исследования мы проводили для трех углов фазы (наблюдения 1932 года):  $\alpha=140^\circ$ ;  $\alpha=90^\circ$  и  $\alpha=40^\circ$ . В качестве  $f(i, \epsilon)$  испытывались:

1. Закон  $f(i, \epsilon) = \cos \epsilon$ .

2.  $f(i, \epsilon) = \cos i \cos \epsilon$ .

3. Закон, полученный Э. Шенбергом из наблюдений над земными облаками [6]. Правда, этот закон мы можем использовать лишь в первом приближении, так как наблюдения облаков Э. Шенберг производил при больших углах отражения, а экстрополяция на меньшие углы не могла быть вполне уверенной.

Вычисления проводились по формуле Э. Шенберга:

$$B = Af(i, \epsilon, A) p^{\sec i + \sec \epsilon} \sec \epsilon + A/2 p^{\sec \epsilon} \sec \epsilon \{ \tau e^{-\tau} Y[\tau(\sec i - 1)] + 1/2 E(\tau, i) \Phi(\tau, 0) \} + 3/16 (1 + \cos^2 \alpha) \{ \tau \sec \epsilon G[\tau(\sec i + \sec \epsilon)] + 1/2 E(\tau, i) \Phi(\tau, \epsilon) \}. \quad (1)$$

Оказалось, что наблюдениям не удовлетворяет ни один из упомянутых выше законов отражения света, в том числе и закон для облачного слоя Э. Шенберга. Отбрасывая сразу же законы  $f(i, \epsilon) = \cos \epsilon$  и  $f(i, \epsilon) = \cos i \cos \epsilon$ , как неприменимые для облачных поверхностей, и сравнивая кривые, вычисленные с помощью закона Э. Шенберга для облачного слоя, замечаем, что и этот закон не удовлетворяет наблюдениям.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что облака Венеры сильно отличаются от тех, которые наблюдал Э. Шенберг. Особенно интересно, что максимумы теоретических и наблюденных кривых не совпадают, а смещены друг относительно друга в одну и ту же сторону, причем смещение увеличивается с уменьшением угла фазы. Так, для  $A=0,7$ ,  $p=0,90$  и угла фазы  $\alpha=140^\circ$  смещение составляет  $17^\circ$ , для  $\alpha=90^\circ-20^\circ$ , а для  $\alpha=40^\circ$  около  $60^\circ$ . Это, несомненно, является следствием того, что облачный слой Венеры обладает зеркальным эффектом, который у наблюдавшихся земных облаков не обнаруживался.

Все сказанное выше можно видеть в таблицах и на рис. 1, 2, 3. при-

Таблица 1

Наблюденное и вычисленное распределение яркости на диске Венеры вдоль экватора интенсивности для  $\alpha=140^\circ$ ,  $A=0,7$  и  $p=0,9$ ;  $p=0,8$ ,  $p=0,7$

$i$	$\varepsilon$	$p=0,9$	$p=0,8$	$p=0,7$	Наблюдения
55°	85°	0,700	0,606	0,746	—
60	80	1,000	1,000	1,000	0,652
70	70	0,815	0,912	0,940	0,932
75	65	—	—	—	1,000
80	60	0,353	0,370	0,394	0,850
85	55	0,131	0,162	0,215	0,600

Таблица 2

Наблюденное и вычисленное распределение яркости на диске Венеры вдоль экватора интенсивности для  $\alpha=90^\circ$ ,  $A=0,7$  и  $p=0,9$ ,  $p=0,8$ ,  $p=0,7$ .

$i$	$\varepsilon$	$p=0,9$	$p=0,8$	$p=0,7$	Наблюдения
10°	80°	0,890	0,796	0,703	—
20	70	1,000	0,984	0,955	0,494
30	60	0,980	1,000	1,000	0,720
40	50	0,915	0,973	0,949	0,950
45	45	—	—	—	1,000
50	40	0,768	0,815	0,790	0,972
60	30	0,569	0,588	0,603	0,755
70	20	0,367	0,368	0,384	0,520
80	10	0,164	0,163	0,157	0,340

Таблица 3

Наблюденное и вычисленное распределение яркости на диске Венеры вдоль экватора интенсивности для  $\alpha=40^\circ$ ,  $A=0,7$  и  $p=0,9$ ,  $p=0,8$ ,  $p=0,7$

$i$	$\varepsilon$	$p=0,9$	$p=0,8$	$p=0,7$	Наблюдения
30°	70°	0,975	1,000	1,000	0,200
20	60	0,915	0,957	0,987	0,287
10	50	0,860	0,900	0,937	0,450
0	40	0,805	0,850	0,885	0,655
10	30	0,755	0,795	0,835	0,855
20	20	0,700	0,750	0,785	0,965
25	15	—	—	—	1,000
30	10	0,650	0,695	0,735	0,998
40	0	0,595	0,640	0,685	0,920
50	10	0,535	0,580	0,615	0,790
60	20	0,470	0,515	0,545	0,655
70	30	0,390	0,418	0,490	0,507
80	40	0,250	0,300	0,265	0,350

веденных для указанных выше углов фазы и  $A=0,7$ ,  $p=0,9$ ;  $A=0,7$ ,  $p=0,8$ ;  $A=0,7$  и  $p=0,7$ .

Поскольку альbedo облачного слоя Венеры нам известно ( $A \approx 0,7$ ), попытаемся найти значения  $\frac{f(i, \varepsilon, A)}{\cos \varepsilon}$  для соответствующих углов падения и отражения, при которых производилось измерение яркости на диске Венеры при  $\alpha=40^\circ$ ,  $\alpha=90^\circ$  и  $\alpha=140^\circ$ .

Подставляя в левую часть уравнения (1) наблюдаемые яркости, выраженные в тех же единицах, что и вычисленные, попытаемся найти значения  $\frac{f(i, \varepsilon, A)}{\cos \varepsilon}$  при  $A=0,7$  и различных значениях  $p$  для  $\alpha=40^\circ$ .

Оказалось, что при  $p < 0,93$  некоторые из значений  $\frac{f(i, \varepsilon, A)}{\cos \varepsilon}$  становятся отрицательными, что не может соответствовать действительности. Поэтому все значения, полученные при  $p < 0,93$ , должны быть отброшены как непригодные. Таким образом, оказывается, что распределение

яркости вдоль экватора интенсивности Венеры с фазой  $\alpha = 40^\circ$ , а, следовательно, и для фаз  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = 140^\circ$  можно удовлетворить, полагая  $p \geq 0,935$  и  $\tau \leq 0,07$ .

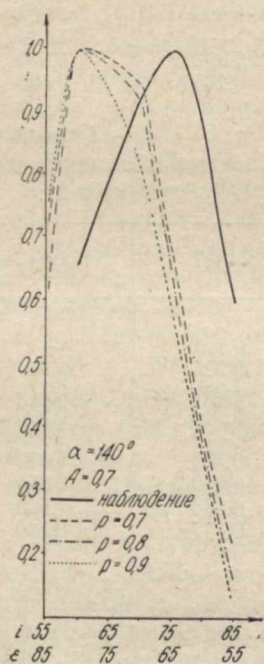


Рис. 1. Распределение яркости по диску Венеры при  $\alpha=140^\circ$  как наблюдаемое (—), так и теоретически вычисленное по формулам Э. Шенберга для альбедо  $A=0,7$ , коэффициенте прозрачности  $p=0,7$  (---);  $p=0,8$  (-·-·-);  $p=0,9$  (·····) и законе отражения от устилающей поверхности для земных облаков по данным Э. Шенберга.

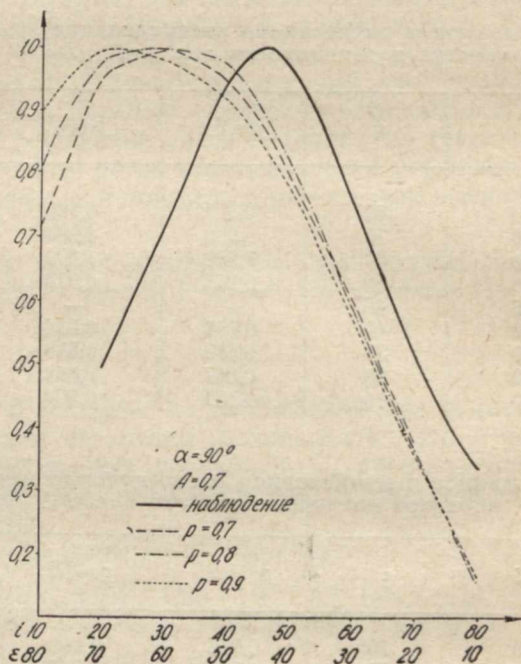


Рис. 2. Распределение яркости по диску Венеры при  $\alpha=90^\circ$  как наблюдаемое (—), так и теоретически вычисленное по формулам Э. Шенберга для альбедо  $A=0,7$ , коэффициенте прозрачности  $p=0,7$  (---);  $p=0,8$  (-·-·-);  $p=0,9$  (·····) и законе отражения от устилающей поверхности для земных облаков по данным Э. Шенберга.

Уже из этого ясно, что оптическая толщина атмосферного слоя над облаками Венеры не может быть большой. Следует отметить, что формула (1) применялась для случая, когда истинное поглощение в газовом слое отсутствует, а происходит лишь рассеяние. Такое предположение можно было сделать, имея в виду, что из наших и В. И. Езерского определений индикатрисы рассеяния атмосферы Венеры [7], на основании наблюдений А. Данжона для отношения коэффициента рассеяния к коэффициенту ослабления света, получилось значение, близкое к единице, а именно  $\frac{\sigma}{\tau} = 0,995$ .

В. В. Соболев [8], обработав наблюдения Г. Мюллера, получил  $\frac{\sigma}{\tau} = 0,989$ , т. е. значение, тоже близкое к единице. Поэтому мы можем в данном случае как первое и достаточно близкое приближение принять, что  $\tau = \sigma$ . В табл. 4 и на рис. 4, 5, 6 мы даем значения  $\frac{f(i, \varepsilon, A)}{\cos \varepsilon}$

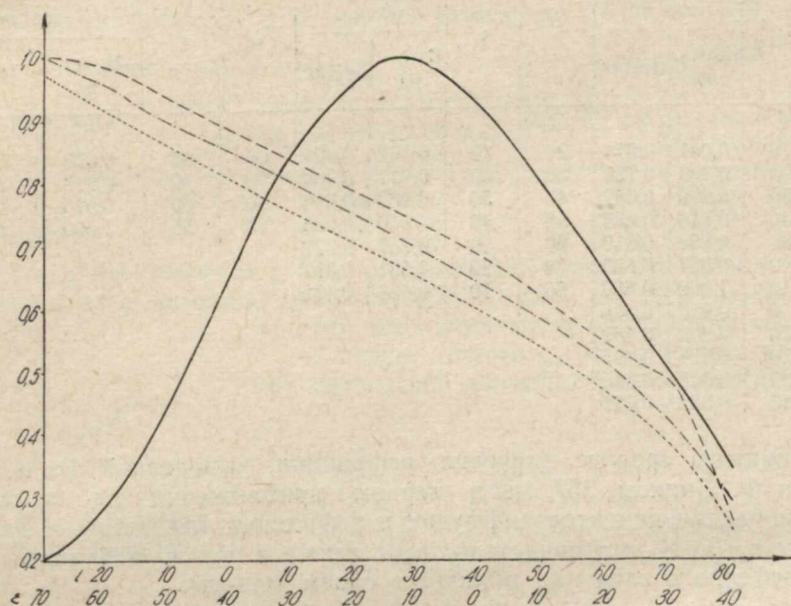


Рис. 3. Распределение яркости по диску Венеры при  $\alpha = 40^\circ$  как наблюдаемое (—), так и теоретически вычисленное по формулам Э. Шенберга для альбедо  $A = 0,7$ , коэффициенты прозрачности  $p = 0,7$  (-----);  $p = 0,8$  (-·-·-·-);  $p = 0,9$  (.....) и законе отражения от устилающей поверхности для земных облаков по данным Э. Шенберга.

для облачного слоя Венеры и Земли при углах фазы  $\alpha = 40^\circ$ ,  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = 140^\circ$ , вычисленные в предположении  $A = 0,7$ , минимального фотометрического возможного  $p = 0,93$  и максимального  $\tau = 0,07$ . В таблице максимальные значения яркости для каждой фазы приняты за единицу.

Из этих данных следует, что облачный слой Венеры отражает свет по закону, соответствующему зеркалящей поверхности, и что другие законы, применявшиеся ранее различными авторами к облачному слою Венеры, ему не соответствуют.

Зеркалящий эффект облачного слоя может быть следствием наличия в нем кристалликов льда. Возможно также, что весь эффект или его часть обуславливается поверхностью, лежащей под облачным слоем. Может быть, это водная поверхность? Для решения этого вопроса нужны специальные многочисленные и разносторонние наблюдения Венеры.

Найденное нами малое значение  $\tau$  для атмосферного слоя над облаками Венеры ( $\tau \leq 0,07$ ) согласуется с определениями других авторов. В. В. Соболев [8] получил  $\tau = 0,033$ . Каплан для давления на уровне облачного слоя получил 90 мб. Для этого давления при грубом подсчете получают  $\tau = 0,020$ .

Таблица 4

Значения  $\frac{f(i, \varepsilon, A)}{\cos \varepsilon}$  для облачного слоя Венеры и Земли, полученные из формулы (1) для углов фаз  $\alpha=10^\circ$ ,  $\alpha=90^\circ$ , и  $\alpha=140^\circ$ ,  $\tau=0,07$ .

$\alpha=40^\circ$				$\alpha=90^\circ$				$\alpha=140^\circ$			
$i$	$\varepsilon$	$\frac{f(i, \varepsilon, A)}{\cos \varepsilon}$		$i$	$\varepsilon$	$\frac{f(i, \varepsilon, A)}{\cos \varepsilon}$		$i$	$\varepsilon$	$\frac{f(i, \varepsilon, A)}{\cos \varepsilon}$	
		Вене- ра	Земля			Вене- ра	Земля			Вене- ра	Земля
30	70	0,041	0,874	20	70	0,462	0,964	60	80	0,679	0,916
20	60	0,189	0,757	30	60	0,717	0,904	70	70	0,918	0,639
10	50	0,429	0,682	40	50	0,969	0,816	80	60	0,973	0,319
0	40	0,619	0,633	50	40	1,000	0,635	85	55	1,000	0,157
10	30	0,850	0,610	60	30	0,787	0,522				
20	20	0,967	0,585	70	20	0,567	0,351				
30	10	1,000	0,550	80	10	0,436	0,176				
40	0	0,914	0,500								
50	10	0,802	0,450								
60	20	0,674	0,395								
70	30	0,533	0,345								
80	40	0,383	0,227								

Принимая среднее значение рефракции, выведенной В. В. Шаровым и Ф. Линком,  $35''$ , мы в первом приближении на основании сравнения коэффициентов диффузии и рефракции для Земли и Венеры находим  $\tau=0,034$ , что свидетельствует также в пользу незначительности атмосферного слоя над облачным слоем Венеры.

Наблюдения покрытия Регула Венерой, произведенные 7 июня 1959 г. Д. Мензелом и Ж. Вокулером [10], дали возможность определить некоторые важные характеристики слоя атмосферы, расположенного над облачным слоем Венеры. Шкала высоты, полученная Д. Мензелом и Ж. Вокулером, составляет  $6,8 \pm 0,2$  км, а Д. Я. Мартыновым и Поспергелисом — 6,0 км [9].

Логарифмический градиент шкалы высот оказался равным  $\frac{1}{H} \frac{\partial H}{\partial z} \approx 0,010 \pm 0,002$  км<sup>-1</sup> на высоте  $60 \pm 10$  км над доступной наблюдениям поверхностью облачного слоя. Давление на этой высоте  $2,6 \pm 0,13$  дин/см<sup>2</sup>, а полная масса газа над этим уровнем —  $3,0 \times 10^{-7}$  г/см<sup>2</sup>. На основании этих данных, обозначив через  $H_0 - H$  высоту полностью окультирующего слоя относительно облачного покрова, получим следующую таблицу [10] давлений в зависимости от  $H_0 - H$ .

Таблица 5

$H_0 - H$ , км	Давление, атм (наблюдения)	Коэффициент прозрачности $p$	Оптическая толщина $\tau$
50	0,010		
55	0,026	0,995	0,005
60	0,060	0,988	0,012

По нашим фотометрическим наблюдениям, для  $\tau \leq 0,07$  давление на высоте облачного слоя  $\leq 0,38$  атм., а для среднего  $\tau$ , выведенного

из данных В. В. Соболева, Каплана и на основании среднего значения рефракции, полученного В. В. Шароновым и Ф. Линком, это давление равно 0,16, что сходится со значением, выведенным из наблюдений покрытия Регула.

Интересно вычислить высоты над поверхностью Земли, давления на которых равны давлениям в атмосфере Венеры на глубине 55 ÷ 60 км ниже окультирующего слоя (табл. 6). Данные для земной атмосферы взяты согласно стандартной атмосфере ARDC — 1959.

Таблица 6

Давление, атм	Земля	Венера
	$H_0 - H$ , км от $H_0 = 87$ км	$H_0 - H$ , км от слоя с давлением $2,10^{-8}$ атм
0,026	60	55
0,060	67	60

Отсюда мы заключаем, что ниже окультирующего слоя атмосферы Венеры на расстоянии от 55 км и до 60 км и для Земли — от 60 км и до 67 км имеют место одинаковые давления.

Следует отметить, что с малым значением оптической толщины  $\tau$  атмосферного слоя

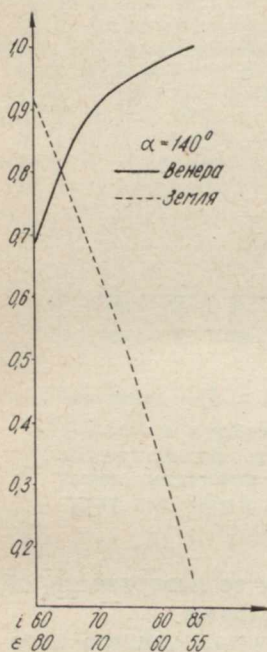


Рис. 4. Значения отношения  $\frac{f(i, \epsilon, A)}{\cos \epsilon}$ , где

$f(i, \epsilon, A)$  — закон отражения для земных облаков по данным Э. Шенберга (—) и для облачного покрова Венеры при максимально фотометрически допустимом значении оптической толщины слоя атмосферы, лежащего выше облачного покрова  $\tau = 0,07$ , альбедо  $A = 0,7$  для угла фазы  $\alpha = 140^\circ$ .

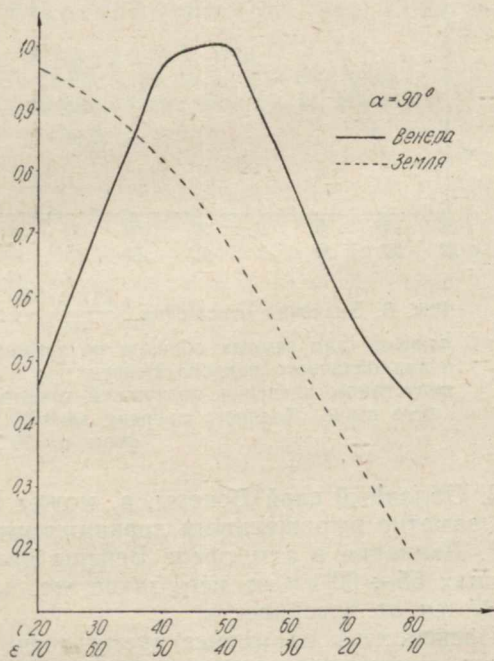


Рис. 5. Значения отношения  $\frac{f(i, \epsilon, A)}{\cos \epsilon}$ , где

$f(i, \epsilon, A)$  — закон отражения для земных облаков по данным Э. Шенберга (—) и для облачного покрова Венеры при максимально фотометрически допустимом значении оптической толщины слоя атмосферы, лежащего выше облачного покрова  $\tau = 0,07$ , альбедо  $A = 0,7$  для угла фазы  $\alpha = 90^\circ$ .

над облачным покровом Венеры плохо согласуется большой сумеречный эффект, выражающийся в значительном удлинении рогов серпа Венеры и расширении освещенной части ее диска.

Дальнейшие наблюдения помогут объяснить это несоответствие.

Основными результатами настоящего исследования являются:

1. Оптическая толщина  $\tau$  атмосферного слоя над облачным покровом Венеры незначительна:  $\tau \leq 0,07$ . Оптическая толщина земной атмосферы в визуальных лучах составляет 0,18.

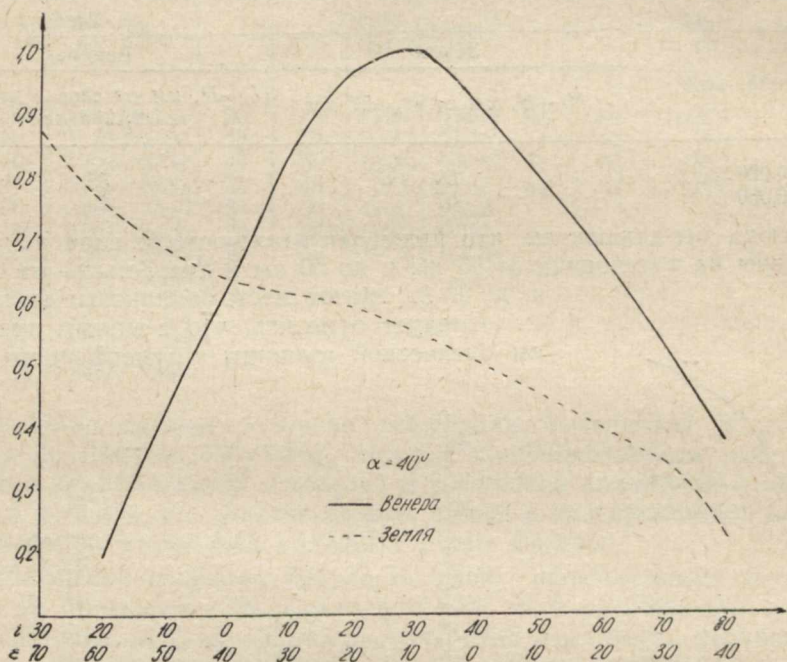


Рис. 6. Значения отношения  $\frac{f(i, \epsilon, A)}{\cos \epsilon}$ , где  $f(i, \epsilon, A)$  — закон отражения для земных облаков по данным Э. Шенберга (—) и для облачного покрова Венеры при максимально фотометрически допустимом значении оптической толщины слоя атмосферы, лежащего выше облачного покрова  $\tau=0,07$ , альбедо  $A=0,7$  для угла фазы  $\alpha=40^\circ$ .

2. Облачный слой Венеры, а, может быть, и ее поверхность, обладают заметно выраженными зеркалящими свойствами.

3. Давление в атмосфере Венеры ниже оккультующего слоя на глубинах 55 ÷ 60 км от него такое же, как и на Земле на высотах 20 ÷ 27 км от поверхности.

Поскольку в настоящее время очень мало достаточно уверенных, хорошо стандартизированных наблюдений Венеры (в основном это наблюдения харьковских астрономов), планетоведам необходимо уделить больше внимания изучению облачного слоя Венеры и слоя атмосферы над ним.

Очень важно иметь многочисленные наблюдения распределения яркости вдоль терминатора и лимба планеты, особенно при больших значениях  $\alpha$ . Это поможет отдать предпочтение той или иной модели и более уверенно говорить о свойствах атмосферы, расположенной между поверхностью планеты и ее облачным слоем, а также сделать заключения о температурах глуболежащих слоев поверхности и ат-

мосферы планеты. Конечно, наиболее ценные сведения могут быть получены с космических и автоматических станций и кораблей.

Необходима организация коллективных наблюдений Венеры, по примеру гой, которая была организована председателем Комиссии № 16 Международного Астрономического Союза А. Дольфюсом. Программа таких наблюдений должна быть составлена опытными планетоведами и включать как оптические, так и радиоастрономические наблюдения.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность лаборанту кафедры астрономии В. Лацько и вычислителям М. Капинус и Л. Дегтяревой, производившим некоторые вычисления для настоящей работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. C. Sagan. Calif. Inst. Techn. Jet Propulsion Lab., Techn. Rep., N 32—34, 1960.
2. E. I. Orip, J. Geophys. Res., 66, 2807, 1961.
3. В. В. Шаронов. «Докл. АН СССР», 82, 351—353, 1952.
4. F. Link. Bull. of the Astr. Instit. of Czech., 1, N 6, 1949.
5. E. Schoenberg. Sonderausgabe aus den Sitzungsberichten der Preussischen Akademie der Wissenschaften Phys-math klasse, XXI, Berlin, 1931.
6. E. Schoenberg. H. d. A., I, II, Theoretische Photometrie.
7. Н. П. Барабашов, В. И. Езерский. «Изв. АН Каз. ССР», № 90, вып. 1—2, 36—52, 1950.
8. В. В. Соболев. «Астроном. журн.», 21, № 5, 1944.
9. Д. Я. Мартынов. «Астроном. журн.», 39, № 4, 653—659, 1962.
10. G. Vaucouleurs, D. Menzel. Nature, 188, N 4744, 28—35.

## О РАЗЛИЧИИ МИКРОРЕЛЬЕФА ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ. II

*Н. П. Барабашов, В. И. Езерский*

На основании данных каталога В. А. Федорца выведен закон отражения, представляющий фотометрически среднюю лунную поверхность. Сопоставление с этим законом дало возможность выявить детали, существенно отличающиеся от фотометрически средней лунной поверхности. Анализ этих фотометрических особенностей показал, что их можно объяснить не только различием величины пористости микрорельефа, но и более существенными обстоятельствами, например, наличием там скальных образований.

Вопрос об особенностях структуры (как макрорельефа, так и микрорельефа) отдельных участков и деталей лунной поверхности в настоящее время приобретает все больший интерес, и для его решения применяются различные методы. Существенным для изучения особенностей микрорельефа отдельных участков лунной поверхности является фотометрический метод. Как показали еще первые фотометрические исследования лунной поверхности, она в общем обладает фотометрической однородностью, которая проявляется, в частности, в том, что максимум яркости для подавляющего большинства деталей наступает при минимальном значении угла фазы  $\alpha \approx 0^\circ$  и что контраст яркости рядом расположенных деталей остается постоянным на протяжении лунации [1, 2].

Для выявления фотометрических особенностей отдельных участков лунной поверхности оказалось возможным применить метод сравнения с усредненными данными, представляющими фотометрически среднюю лунную поверхность. Такое сопоставление было выполнено впервые [3] на основании данных каталога В. А. Федорца [2], однако данные В. А. Федорца были использованы не полностью, не для всех измеренных деталей и углов фаз. В настоящее время произведена полная обработка каталога, что позволило получить более полные и уверенные данные и сделать заключения о фотометрических особенностях отдельных участков лунной поверхности.

Методика выведения данных, представляющих фотометрически среднюю лунную поверхность, была в принципе аналогична применявшейся ранее. В соответствии с хорошо известным свойством лунной поверхности [1] яркость деталей выражалась в единицах их яркости в полнолуние, таким образом учитывалось различие по альбедо. Усреднение производилось графическим путем по большому числу деталей. При этом, в соответствии с установленной особенностью отражения света от лунной поверхности яркость представлялась как функция угла фазы  $\alpha$  и селенографической долготы  $\lambda$  [4]. При этом производилось усреднение данных близких по значению углов фазы.

Первоначально строились графики зависимости  $B$  от  $\cos i/\cos \epsilon$ , что давало возможность легко в соответствии с принципом взаимности Миннаерта [5] отражать данные интервала значений  $\cos i/\cos \epsilon$   $1 \div \infty$  на интервал  $1 \div 0$ . Тем самым достигалось более полное усреднение данных каталога [2]. По кривым  $B=f(\alpha, \cos i/\cos \epsilon)$  снимались значения яркости, соответствующие фотометрически средней лунной поверхности, обозначенные далее как  $B_m$ . Для всех деталей каталога и при всех значениях угла фазы определялась разность между наблюдаемым значением яркости (редуцированным по альбедо) и значением яркости фотометрически средней лунной поверхности (при прочих равных условиях). Эта разность в дальнейшем обозначена как  $\Delta B$ .

Анализ этих данных, в частности величины отношения  $\frac{\Delta B}{B_m}$ , позволяет выявить фотометрические, а следовательно, и структурные особенности некоторых деталей лунной поверхности. Окончательно выведенный закон представлялся для целочисленных значений параметров угла фазы  $\alpha$  и селеноцентрической долготы  $\lambda$ , и для этого было произведено графическим путем необходимое интерполирование. При этом кривые  $B=f(\alpha, \cos i/\cos \epsilon)$  были перестроены в кривые  $B=G(\alpha, \lambda)$ . По этим кривым путем численного интегрирования произвели определение относительного интегрального блеска Луны по формуле

$$\frac{B(\alpha)}{B(0)} = \frac{1}{2} \int_{\alpha - \frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} B(\lambda, \alpha) \cos \lambda d\lambda.$$

Полученные данные приведены в табл. 1, где они сравниваются с результатами, полученными Бюллерихом [6]. После графической ин-

Таблица 1\*

$\alpha$	Ф.	Б.
0°	1,000	1,000
6,3	0,804	0,820
12,2	0,700	0,695
17,7	0,560	0,595
23,0	0,516	0,515
27,0	0,434	0,464
41,0	0,346	0,310
50,5	0,275	0,234
57,3	0,169	0,188
63,4	0,159	0,154
73,3	0,128	0,112
78,8	0,098	0,090
86,2	0,067	0,075
90,5	0,053	0,065
99,6	0,040	0,048
107,1	0,031	0,038
128,4	0,011	0,018
132,3	0,011	0,014
143,3	0,006	0,008

Таблица 2\*

$\alpha$	Ф.	Б.
0°	1,000	1,000
4	0,873	0,860
8	0,776	0,770
12	0,695	0,692
16	0,620	0,621
20	0,546	0,560
24	0,487	0,506
28	0,426	0,456
32	0,405	0,409
36	0,376	0,365
40	0,345	0,320
50	0,257	0,233
60	0,184	0,167
70	0,135	0,124
80	0,089	0,087
90	0,059	0,067
100	0,040	0,047
110	0,027	0,036
120	0,018	0,024
130	0,010	0,012
140	0,006	0,009
150	0,003	0,004

Примечание. \*Ф.—данные, полученные по каталогу В. Л. Федорца. Б.—данные по Бюллериху.



терполяции было снова произведено численное интегрирование для определения относительного интегрального блеска Луны, и данные представлены в табл. 2, где они сравниваются с той же фазовой кривой интегрального блеска Луны ( $B$ ). В обоих случаях наблюдается вполне удовлетворительное согласие, свидетельствующее о том, что полученные данные относятся к фотометрически средней лунной поверхности.

Выведенный закон отражения представлен в табл. 3 и на рис. 1. Значения яркости даны как функция  $\lambda$  в интервале  $-90^\circ \div +90^\circ$  при положительных значениях угла фазы  $\alpha$ . Для отрицательных значений угла фазы яркость может быть найдена из той же таблицы по соотношению

$$B(\lambda, -\alpha) = B(-\lambda, \alpha).$$

Поскольку можно полагать, что различие микрорельефа и расположение склонов носит в общем случайный характер, то выведенный закон отражения света соответствует некоторому среднему микрорельефу и ровной сферической Луне. Как и в предыдущей работе [3], выявлена группа деталей, показывающая систематические отклонения по яркости, которые выражались, как и раньше, величиной  $\frac{\Delta B}{B_m}$ .

Отклонения могут быть вызваны как случайными ошибками наблюдений, так и различием макрорельефа, т. е. наличием склонов. Даже качественное рассмотрение хода величины  $\frac{\Delta B}{B_m}$  с углом фазы позволяет получить некоторое представление об особенностях структуры, определяющих эти отклонения. Например, наличие склонов должно проявиться в изменении знака величины  $\frac{\Delta B}{B_m}$  с изменением знака угла фазы  $\alpha$ .

Как и следовало ожидать, такая особенность присуща валам кратеров и доньям некоторых кратеров. Детали, у которых  $\frac{\Delta B}{B_m}$  сохраняет знак, а дисперсия  $\sigma$  невелика, отличаются, вероятно, главным образом микрорельефом. При этом, поскольку определяющим эффектом в случае отражения света от лунной поверхности является теневой эффект на мельчайших неровностях микрорельефа, естественно считать, что детали, у которых  $\frac{\Delta B}{B} < 0$ , обладают большей степенью пористости, а детали, у которых  $\frac{\Delta B}{B_m} > 0$ , систематически  $> 0$ , обладают меньшей степенью пористости.

Однако такие оценки носят скорее качественный характер, хотя и представляют немалый интерес. Естественно, что для более полного анализа выявленных фотометрических особенностей необходимо произвести их теоретическое рассмотрение.

Но прежде всего необходимо обратить внимание еще на одно обстоятельство. Неоднократно отмечалось [2, 7, 8], что не для всех деталей максимальная яркость наступает точно в полнолуние. Поэтому интересно было определить для тех же деталей, которые выявили особенности по параметру  $\frac{\Delta B}{B_m}$ , значения градиента яркости вблизи полнолуния и сопоставить их с отклонениями яркости.

Градиент яркости определялся по данным каталога [2], как среднее значение на интервале  $(-8^\circ, 9; -7^\circ, 1) \div -1^\circ, 5$  и интервале  $-1^\circ, 5 \div$

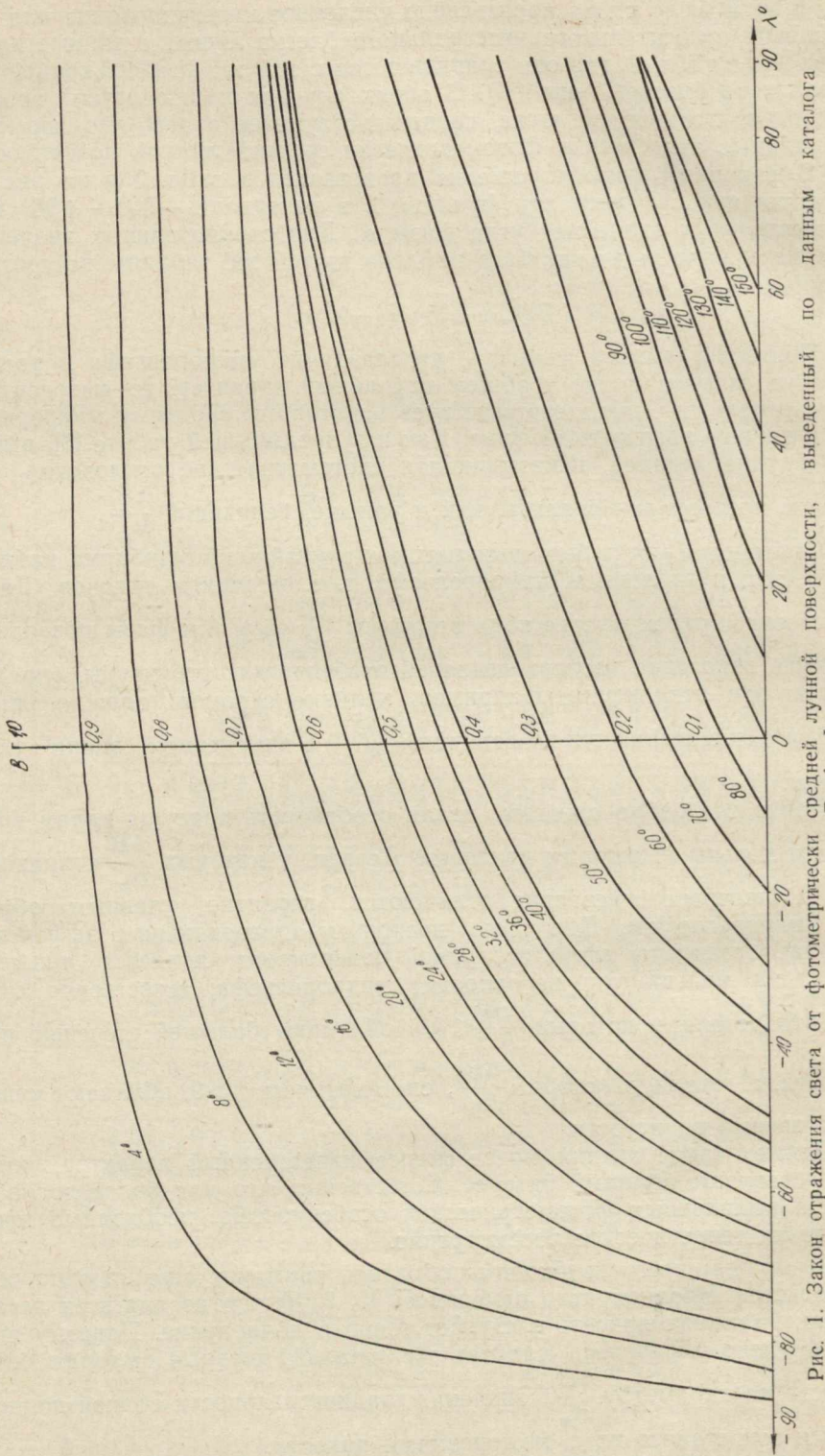


Рис. 1. Закон отражения света от фотометрически средней лунной поверхности, выведенный по данным каталога В. А. Федорен.

÷ (+4°6, +5°5), для того чтобы исключить влияние асимметрии фазовых кривых. Полученные величины в дальнейшем обозначались как  $\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$ .

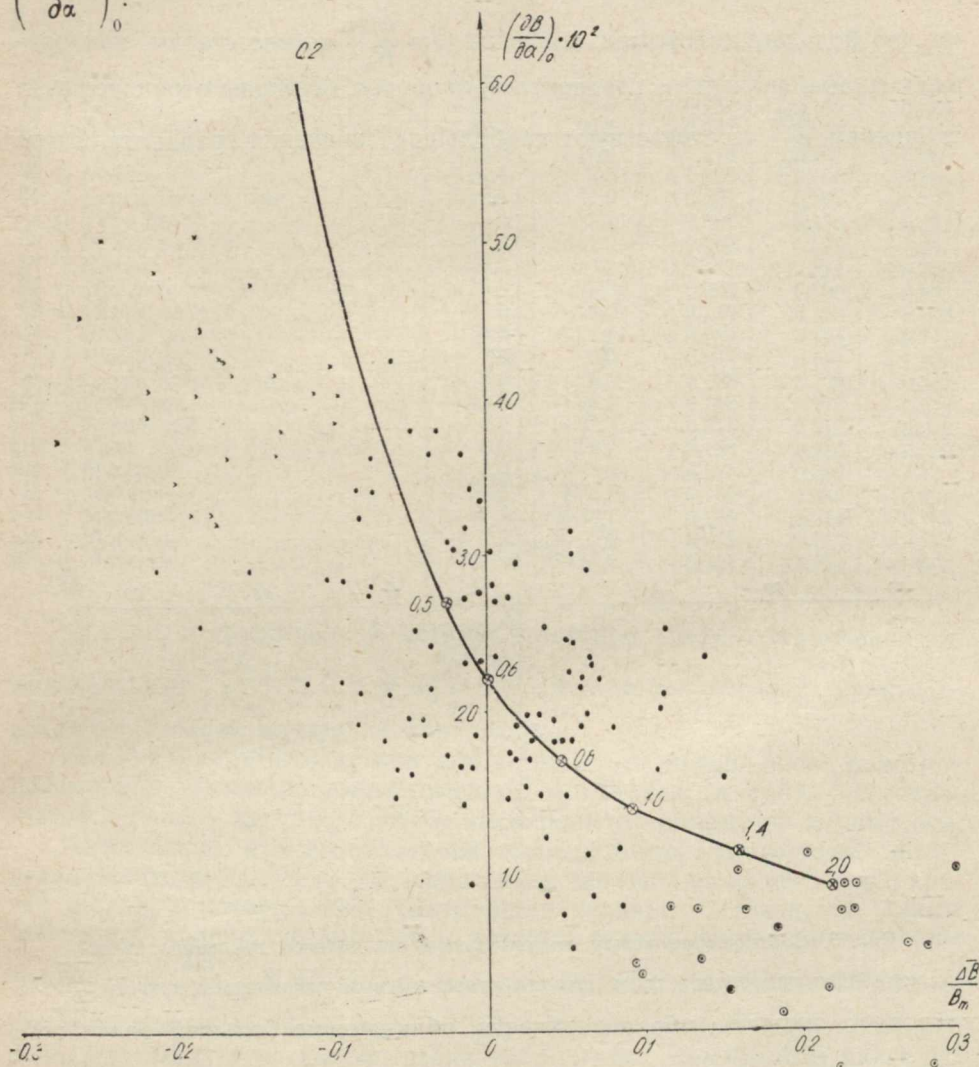


Рис. 2. Соотношение между градиентом яркости вблизи полнолуния  $\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right) \times 10^2$  и средним относительным отклонением яркости  $\frac{\Delta B}{B_m}$ .

Оказалось, что величина градиента меняется в значительных пределах. Среднее значение величины градиента  $\left(\frac{\partial \bar{B}}{\partial \alpha}\right)_0 = 0,0225$ . Были подсчитаны отклонения градиента от среднего значения по формуле

$$\Delta_0 = \frac{\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0 - \left(\frac{\partial \bar{B}}{\partial \alpha}\right)_0}{\left(\frac{\partial \bar{B}}{\partial \alpha}\right)_0}$$

Сопоставление значений  $\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$  с  $\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$  и  $\Delta_0$ , представленное на рис. 2 и рис. 3, показало явную корреляцию. Чрезвычайно существенно, что большие положительные значения  $\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$  соответствуют, как правило, малым значениям градиента и, наоборот, большим отрицательным значениям  $\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$  соответствуют наибольшие значения градиента. Этого

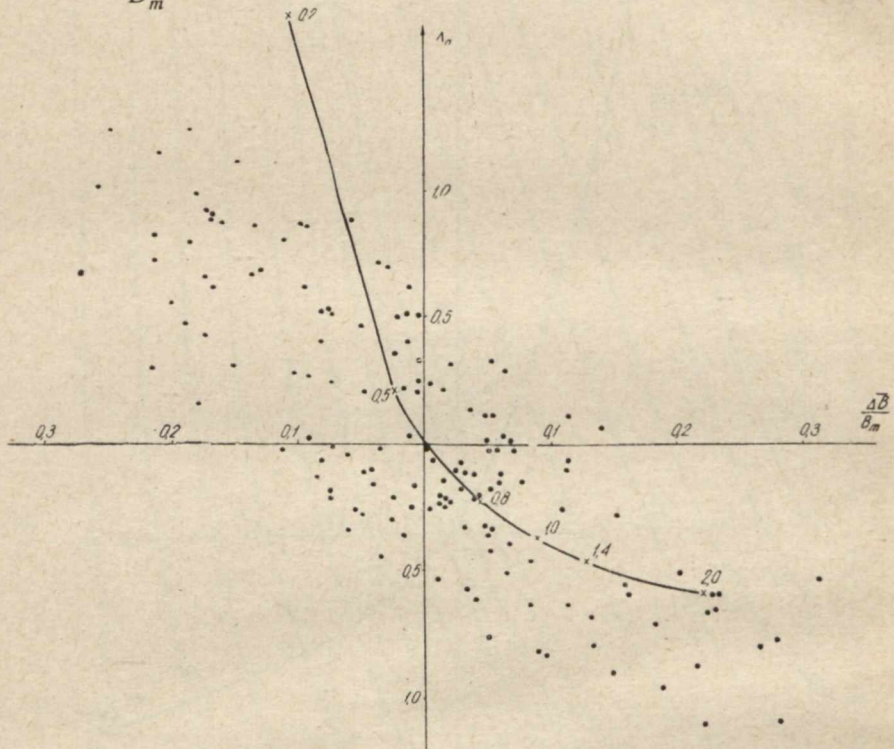


Рис. 3. Соотношение между относительным отклонением градиента яркости вблизи полнолуния  $\Delta_0$  и средним относительным отклонением яркости  $\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$ . следовало ожидать, ибо поверхности, обладающие большей величиной пористости ( $\frac{\overline{\Delta B}}{B_m} < 0$ ) должны иметь и больший градиент яркости вблизи нулевой фазы, а при меньшей величине пористости ( $\frac{\overline{\Delta B}}{B_m} > 0$ ) градиент яркости меньше. Довольно тесная корреляция этих величин наблюдается и в области небольших значений отклонений.

Имеются все основания рассматривать эти параметры  $\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$  и  $\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$  как независимые характеристики структуры микрорельефа. Поэтому для дальнейшего анализа была произведена некоторая систематизация всех рассмотренных деталей по значениям обоих параметров.

К первой группе отнесены детали, для которых значение  $\frac{\overline{\Delta B}}{B_m} \geq 0,1$ , а величина  $|\Delta_0| > 0,5$  и отрицательна. Эти детали включены в табл. 4. Они обладают меньшей величиной пористости.

Таблица 4

Номер по каталогу	Название деталей	$\varphi$	$\lambda$	$\frac{\Delta B}{B_m}$	$\sigma$	$\Delta_0$
19	Берег рядом с Посидонием . . . . .	+27° 7	+34° 0	+0,224	±0,175	-0,667
23	Кирилл . . . . .	-13,3	+24,0	+0,234	0,171	-0,658
27	Посидоний . . . . .	+31,9	+29,5	+0,227	0,154	-0,591
28	Менелай . . . . .	+16,0	+15,9	+0,218	0,131	-0,880
29	Манилий . . . . .	+14,4	+ 8,5	+0,268	0,160	-0,800
35	Берег Болота Сна . . . . .	+16,4	+45,2	+0,234	0,192	-0,582
61	Тихо (дно) . . . . .	-43,0	-11,1	+0,096	0,372	-0,831
63	Рядом не луч . . . . .	-40,0	-11,0	+0,288	0,176	-1,24
64	Кольцо Тихо . . . . .	-43,0	-13,0	+0,187	0,311	-0,960
65	Светлый луч возле Тихо . . . . .	-36,5	-28,0	+0,096	0,160	-0,804
66	Рядом не луч . . . . .	-35,0	-28,0	+0,132	0,118	-0,693
70	Рядом не луч . . . . .	-54,0	-27,0	+0,183	0,194	-0,711
72	Коперник . . . . .	+ 7,0	-20,0	+0,284	0,171	-1,10
74	Возле Коперника . . . . .	+ 6,0	-22,0	+0,160	0,129	-0,547
102	Аристарх . . . . .	+23,0	-47,1	+0,116	0,277	-0,544
118	Гримальди . . . . .	- 5,2	-67,1	+0,314	0,213	-0,529
119	Край Луны у Гримальди . . . . .	- 6,0	-78,0	+0,164	0,230	-0,609
124	Материк . . . . .	- 3,0	- 8,0	+0,224	0,219	-1,11
148	Материк . . . . .	-32,5	+61,8	+0,152	0,336	-0,898
149	Материк . . . . .	-29,5	+50,7	+0,135	0,214	-0,796
155	Материк . . . . .	- 7,2	- 6,0	+0,279	0,115	-0,773
166	Материк . . . . .	-15° 5	-6° 5	+0,201	±0,134	-0,502

В табл. 5 представлены детали, у которых среднее отклонение отрицательно и  $\left| \frac{\Delta B}{B_m} \right| \gtrsim 0,1$ , а  $\Delta_0 \gtrsim 0,5$ . Эти детали должны характеризоваться большей величиной пористости.

В табл. 6 включены детали, для которых отклонения обоих параметров меньше указанных выше пределов, и, наконец, в табл. 6-а содержатся детали, у которых имеется отклонение по одному из параметров.

Естественно, что до некоторой степени такое разделение носит чисто условный характер. Не включены в таблицы валы кратеров и другие детали, у которых явно сказывается наличие склонов, а также небольшое количество деталей, у которых велика дисперсия величины отклонения  $\frac{\Delta B}{B_m}$ . К последним деталям относятся в основном краевые участки, для которых необходимо уточнить закон отражения в краевой зоне. Что следует из рассмотрения табл. 4—6а? Как было и ранее отмечено, детали с  $\frac{\Delta B}{B_m} > 0$  — это кратеры и материковые участки,

а детали с  $\frac{\Delta B}{B_m} < 0$  — это преимущественно некоторые участки морей. Табл. 6 включает примерно в равной степени различные по морфологическим характеристикам объекты.

В табл. 4—6а даны селенографические координаты деталей  $\varphi$  и  $\lambda$ , а также  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение величины  $\frac{\Delta B}{B_m}$ , рассчитанное по формуле  $\sigma = \sqrt{\frac{[\sigma^2]}{-1}}$ .

Итак, можно считать установленным наличие на лунной поверхности деталей, отличающихся фотометрически, а следовательно, и по микрорельефу.

Таблица 5

Номер по каталогу	Название деталей	$\varphi$	$\lambda$	$\frac{\Delta B}{B_m}$	$\sigma$	$\Delta_0$
1	Море Кризисов . . . . .	+20°,0	+61°,1	-0,132	+0,158	+0,684
2	Море Кризисов . . . . .	+18,2	+54,5	-0,172	0,086	+0,902
3	Море Кризисов . . . . .	+12,2	+56,5	-0,247	0,122	+1,24
7	Венделин . . . . .	-17,0	+61,6	0,218	0,139	+0,724
15	Море Ясности . . . . .	+25,9	+17,0	-0,113	0,133	+0,800
15а	Море Ясности . . . . .	+28,8	+10,0	-0,164	0,124	+0,857
17	Море Ясности . . . . .	+22,0	+13,0	-0,095	0,125	+0,876
30	Море Изобилия . . . . .	- 3,1	+56,0	-0,260	0,092	+1,02
31	Море Изобилия . . . . .	- 4,0	+46,0	-0,186	0,058	+1,24
32	Море Изобилия . . . . .	- 7,5	+47,0	-0,190	0,125	+0,462
33	Море Изобилия . . . . .	- 7,5	+45,0	-0,216	0,094	+0,809
34	Горная область возле Моря Кризисов . . . . .	+ 8,2	+68,0	-0,276	0,128	+0,653
38	Материк . . . . .	+13,0	+12,0	-0,182	0,121	+0,987
41	Море Спокойствия . . . . .	+ 8,0	+30,0	-0,212	0,116	+1,15
43	Море Спокойствия . . . . .	+ 1,0	+25,0	-0,100	0,087	+0,871
60	Центральный залив . . . . .	+ 7,0	- 8,0	-0,175	0,145	+0,427
71	Архимед . . . . .	+29,0	- 4,0	-0,150	0,162	+1,11
75	Светлая полоса в Море Дождей	+23,0	-21,8	-0,167	0,102	+0,609
77	Светлая полоса возле Тимохариса . . . . .	+28,0	-15,5	-0,135	0,122	+0,631
83	Море Дождей . . . . .	+30,0	-17,0	-0,097	0,155	+0,711
91	Море Дождей . . . . .	+40,0	-28,0	-0,174	0,142	+0,911
95	Море Облаков . . . . .	- 8,0	-13,0	-0,176	0,100	+0,654
99	Залив Зноя . . . . .	+12,0	- 3,6	-0,136	0,103	+0,858
111	Пятно Вуда . . . . .	+24,0	-50,0	-0,170	0,068	+0,893
112	Светлый луч возле Аристарха	+26,0	-48,0	-0,202	0,157	+0,538
128	Западный край Луны . . . . .	0°,0	+70°,0	-0,186	+0,126	+0,796

Для дальнейшего анализа необходимо применить теорию, которая бы достаточно хорошо представляла отражательную способность лунной поверхности. Такие расчеты были произведены для модели вертикальных бесконечно глубоких трещин [1]. Как известно, эта модель в предположении, что устилающая поверхность отражает по закону Ламберта, хорошо удовлетворяет деталям с  $\lambda \gtrsim 60^\circ$  [9].

Расчет производился по соответствующим формулам. В этих формулах основной параметр, определяющий величину пористости, — это  $\frac{m}{n}$ , т. е. отношение ширины горизонтальных площадок к ширине трещин. Предполагалось, что устилающая поверхность отражает свет по закону Ламберта.

Определялись величины  $\frac{\Delta B}{B_m}$  по отношению к яркости при  $\frac{m}{n} = 0,25$  при значениях  $\frac{m}{n} = 0,10; 0,15; 0,20; 0,30; 0,35; 0,40$  для  $\lambda = 60^\circ$  и  $\lambda = 70^\circ$ .

Полученные значения приведены в табл. 7, из которой видно, что хотя величина  $\frac{\Delta B}{B_m}$  и может существенно возрастать при соответ-

Таблица 6

Номер по каталогу	Название деталей	$\varphi$	$\lambda$	$\frac{\Delta B}{B_m}$	$\sigma$	$\Delta_0$
4	Болото Сна . . . . .	+14°,0	+42°,8	+0,018	±0,129	-0,253
6	Лангрэн . . . . .	-8,5	+60,7	+0,004	0,140	+0,044
8	Петавий . . . . .	-24,3	+59,5	-0,051	0,094	-0,284
9	Перемычка между Морем Кризисов и Морем Изобилия . . . . .	+6,5	+55,0	-0,094	0,132	-0,266
10	Клеомед . . . . .	+27,3	+56,0	+0,033	0,224	-0,111
11	Край Луны вблизи Петавия . . . . .	-30,7	+80,0	-0,076	0,190	-0,196
12	Край Луны вблизи Мессало . . . . .	+43,0	+65,0	-0,060	0,172	-0,342
14	Область рядом с Лучом . . . . .	+22,1	+18,0	+0,054	0,130	+0,413
16a	Море Ясности . . . . .	+22,0	+27,0	-0,023	0,132	+0,356
18	Море Ясности . . . . .	+29,9	+26,5	-0,022	0,087	+0,502
21	Фракастор . . . . .	-21,2	+2,3	-0,042	0,130	-0,120
25	Море Холода . . . . .	+58,0	-17,0	+0,014	0,097	+0,222
26	Море Холода . . . . .	+51,0	+30,0	+0,059	0,133	-0,031
37	Материк . . . . .	-25,0	+35,0	+0,053	0,102	-0,191
39	Материк . . . . .	-3,0	+14,0	+0,043	0,124	+0,253
45	Аристилл (дно) . . . . .	+33,0	-2,0	+0,056	0,148	-0,013
46	Автолик (дно) . . . . .	+30,9	+2,0	-0,038	0,162	-0,044
49	Море Паров . . . . .	+14,0	+2,0	+0,045	0,132	-0,196
51	Море Паров . . . . .	+10,0	+8,0	+0,018	0,159	-0,151
52	Птоломей . . . . .	-8,1	-2,8	-0,041	0,125	-0,124
53	Альфонс . . . . .	-12,8	-3,3	-0,024	0,115	-0,236
55	2-е темное пятно в Альфонсе . . . . .	-13,1	-2,0	-0,013	0,171	-0,342
58	Материк . . . . .	+17,0	-2,0	-0,039	0,121	+0,084
59	Центральный Залив . . . . .	0,0	0,0	+0,062	0,173	-0,111
67	Луч Тихо . . . . .	-23,0	-24,0	+0,014	0,083	-0,222
73	Светлый луч возле Коперника . . . . .	+12,3	-17,7	+0,060	0,125	-0,147
73a	Рядом не луч . . . . .	+11,0	-17,0	-0,096	0,115	+0,022
74a	Светлый луч возле Коперника . . . . .	+7,0	-21,5	+0,038	0,158	-0,449
78	Рядом со светлой полосой . . . . .	+27,0	-14,0	-0,053	0,165	+0,471
79	Светлый луч Тихо . . . . .	-36,8	+5,1	-0,014	0,093	+0,031
79a	Рядом не луч . . . . .	-35,0	+7,0	+0,026	0,123	-0,302
70в	Светлый луч Тихо . . . . .	-37,0	+10,0	-0,025	0,201	-0,222
79с	Рядом не луч . . . . .	-35,0	+10,0	-0,019	0,098	-0,356
81	Луч возле Коперника . . . . .	+8,0	-36,5	-0,048	0,128	+0,210
82	Рядом не луч . . . . .	+4,5	-36,5	+0,072	±0,130	-0,013
85	Альбатегний . . . . .	-11,7	+4,5	-0,017	±0,102	+0,218
86	Арзахель . . . . .	-17,8	-2,8	-0,077	0,131	-0,196
88	Море Дождей . . . . .	+43,0	-16,0	+0,003	0,163	+0,342
93	Море Облаков . . . . .	-21,8	-14,9	-0,063	0,153	-0,053
94	Море Облаков . . . . .	-26,0	-15,0	-0,081	0,124	-0,058
98	Залив Зноя . . . . .	+12,0	-10,0	-0,013	0,111	+0,418
100	Залив Радуги . . . . .	+45,0	-32,5	-0,008	0,123	-0,173
101	Залив Радуги . . . . .	+45,0	-34,0	-0,075	0,135	+0,236
103	Море Влажности . . . . .	-22,6	-37,6	+0,025	0,026	-0,111
104	Между Морем Дождей и Морем Ясности . . . . .	+25,0	+5,0	+0,004	0,111	+0,253
105	Болото Туманов . . . . .	+38,6	+4,0	-0,005	0,201	+0,236
106	Океан Бурь . . . . .	-0,1	-58,0	+0,063	0,079	+0,302
107	Океан Бурь . . . . .	+32,0	-46,0	+0,015	0,130	-0,227
108	Океан Бурь . . . . .	+10,0	-45,0	+0,005	0,094	-0,058
114	Гассенди . . . . .	-17,7	-40,0	-0,058	0,122	-0,262
115	Гримальди . . . . .	-5,0	-63,0	+0,006	0,131	+0,208
116	Западная часть Моря Влажности . . . . .	-25,0	-32,1	-0,047	0,182	-0,120
117	Шиккард . . . . .	-43,8	-55,4	+0,068	0,156	-0,391
120	Восточное пятно в Шиккарде . . . . .	-42,8	-57,5	+0,049	0,192	-0,333
122	Океан бурь . . . . .	+23,0	-65,0	+0,049	0,141	+0,107
123	Горная область . . . . .	-5,0	+35,0	-0,010	0,080	-0,253
132	Южный край Луны . . . . .	-70,0	0,0	-0,085	0,126	-0,138

Продолжение табл. 6

Номер по каталогу	Название деталей	$\varphi$	$\lambda$	$\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$	$\sigma$	$\Delta_0$
142	Рядом с лучом в Море Ясности	+31°7	+20°0	+0,052	±0,117	+0,102
143	Светлый луч в Море Ясности	-31,7	+22 0	-0,103	0,094	+0,280
144	Материк . . . . .	-34,2	+36 0	-0,041	0,099	-0,164
145	Материк . . . . .	- 8,0	+11 2	+0,032	0,097	-0,334
146	Материк . . . . .	-35,0	+14 0	+0,080	0,194	-0,148
150	Материк . . . . .	-27,0	+42 9	+0,029	0,099	-0,177
156	Океан Бурь . . . . .	+ 4,9	-36 1	+0,054	0,086	+0,338
160	Океан Бурь . . . . .	+19,5	-37 0	+0,081	0,110	-0,470
161	Океан Бурь . . . . .	0 0	-35 0	+0,052	0,136	0,000
162	Океан Бурь . . . . .	- 2,5	-41 8	+0,067	0,101	+0,009
163	Океан Бурь . . . . .	-11,0	-52 0	+0,019	0,153	+0,324
164	Океан Бурь . . . . .	+32,5	-50 0	+0,038	0,197	+0,147
165	Океан Бурь . . . . .	+32°5	-41°1	+0,064	±0,098	+0,031

Таблица 6(а)

Номер по каталогу	Название деталей	$\varphi$	$\lambda$	$\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$	$\sigma$	$\Delta_0$
5	Море Нектара . . . . .	+15°0	+34°1	- 0,038	±0,118	+0,715
13	Светлый луч в Море Ясности	+20,0	+17,0	-0 014	0,089	+0,622
20	Озеро Снов . . . . .	+35,5	+35,5	-0,116	0,147	-0,058
22	Теофил . . . . .	-11,7	+26,8	-0,003	0,115	+0,507
24	Катарина . . . . .	-17,4	+23,0	+0,110	0,199	-0,258
36	Море Спокойствия . . . . .	- 4,0	+25,0	-0,031	0,114	+0,698
40	Материк . . . . .	+38,0	+43,0	-0,184	0,100	+0,147
42	Море Спокойствия . . . . .	+12,0	+37,0	-0,084	0,113	+0,516
44	Гиппарх . . . . .	- 5,0	+ 5,0	-0,083	0,139	+0,400
54	1-е темное пятно в Альфонсе	-11,3	- 4,4	+0,033	0,130	-0,578
62	Светлый луч возле Тихо . . .	-41,1	- 8 0	+0,086	0,192	-0,644
68	Светлый луч возле Тихо . . .	-23,0	-21,5	+0,152	0,141	-0,284
69	Светлый луч возле Тихо . . .	-54,5	-25,0	+0,038	0,157	-0,609
76	Рядом со светлой полосой . .	+23,0	-22,8	-0 013	0,090	+0,524
80	Кеплер . . . . .	+ 7,5	-37,8	+0,048	0,194	-0,342
87	Западная часть Моря Дождей	-32,5	+ 5,0	-0,059	0,110	-0,893
89	Море Дождей . . . . .	+28,5	-35,0	+0,111	0,135	-0,102
90	Область между Морем Дождей и Заливом Росы . . . . .	+42,0	-43,0	-0,012	0,175	-0,524
92	Море Дождей . . . . .	+29,0	+ 6 0	-0,075	0,127	+0,524
97	Клавий . . . . .	-58 0	-15 0	+0,051	0,160	-0,764
109	Край у Залива Росы . . . . .	+50,0	-66,0	-0,154	0,151	+0,298
110	Залив Росы . . . . .	+42,0	-52,0	-0,076	0,097	+0,619
113	Рядом не Луч . . . . .	+26,0	-46 0	+0,140	0,163	+0,058
129	Западный край луны . . . . .	+22,0	+70,0	-0,217	0,159	+0,289
147a	Материк . . . . .	+37,0	+59,6	-0,115	0,148	-0,022
167	Материк . . . . .	-17,0	-46,6	+0,115	0,159	+0,129
168	Материк . . . . .	-18°5	-53°8	+0,066	±0,143	-0,502

ствующем изменении  $\frac{m}{n}$ , однако, при этом такого же порядка оказываются и средние квадратические отклонения  $\sigma$ , и, что более существенно, величина градиента  $\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$  меняется очень мало. Поэтому оценивать величину пористости по этой модели не представляется возможным.

Таблица 7

$\varepsilon = 70^\circ$							
$m/n$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
$\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$	-0,305	-0,199	-0,097	—	+0,102	+0,185	+0,274
$\sigma$	$\pm 0,267$	$\pm 0,175$	$\pm 0,086$	—	$\pm 0,094$	$\pm 0,163$	$\pm 0,241$
$\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,024	0,024

$\varepsilon = 60^\circ$							
$\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$	-0,278	-0,180	-0,087	—	+0,084	+0,163	+0,238
$\sigma$	$\pm 0,261$	$\pm 0,18$	$\pm 0,084$	—	$\pm 0,081$	$\pm 0,158$	$\pm 0,230$
$\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$	0,020	0,020	0,019	0,019	0,018	0,018	0,017

Полученные данные о фотометрических особенностях деталей рассматривались на основании теоретического закона, выведенного Хапке [10] при весьма общих предположениях о характере пористости. Этот закон может быть записан в следующем виде:

$$B(\alpha, \lambda, g) = A_0 \cdot \varphi(\alpha, \lambda) \psi(\alpha) b(\alpha, g)$$

$$\varphi(\alpha, \lambda) = \frac{1}{1 + \frac{\cos \lambda}{\cos(\lambda - \alpha)}}$$

$$\psi(\alpha) = \frac{\sin |\alpha| + (\pi - |\alpha|) \cos \alpha}{\pi} \quad (1)$$

$$b(\alpha, g) = \begin{cases} 2 - \frac{\operatorname{tg} |\alpha|}{2g} (1 - e^{-g/\operatorname{tg} |\alpha|}) (3 - e^{-g/\operatorname{tg} |\alpha|}) \\ 1, \quad |\alpha| \geq \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

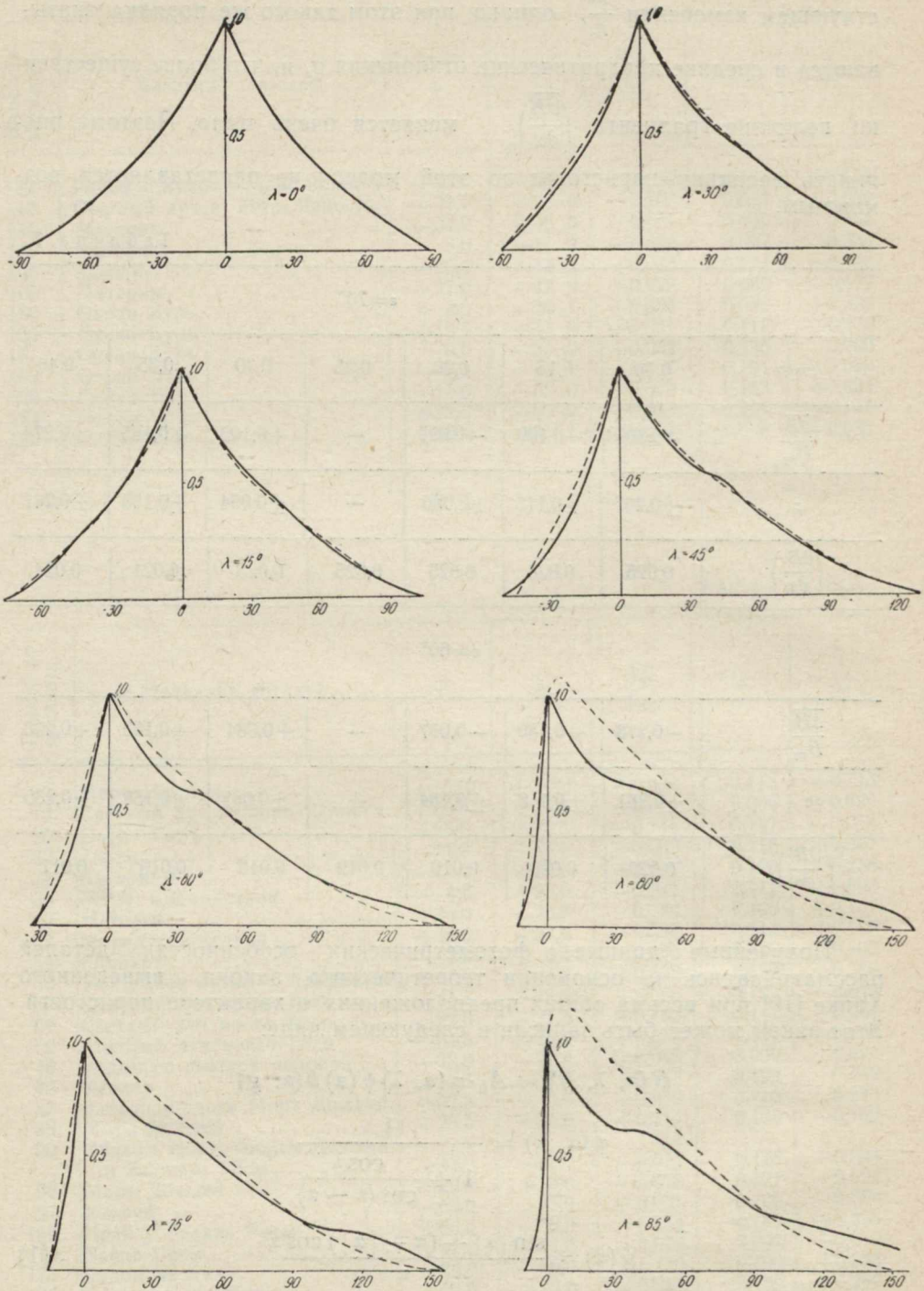


Рис. 4. Фазовые кривые для фотометрически средней лунной поверхности (—) и теоретические значения по формуле Чапка при  $g = 0.6$  (----).

Таблица 8

$\alpha$ $\lambda$	0°	4°	8°	12°	16°	20°	24°	28°	32°	36°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	10°	120°	130°	140°	150°	
-85°	1,000	0,305																					
-80°	1,000	0,685	0,274																				
-75°	1,000	0,772	0,525	0,248	0,228	0,212	0,199	0,188	0,070	0,092	0,097												
-70°	1,000	0,813	0,620	0,513	0,363	0,320	0,199	0,188	0,179	0,170	0,097												
-65°	1,000	0,836	0,671	0,564	0,439	0,385	0,287	0,262	0,242	0,226	0,153												
-60°	1,000	0,851	0,702	0,599	0,487	0,430	0,345	0,313	0,288	0,268	0,212												
-55°	1,000	0,862	0,725	0,624	0,535	0,464	0,387	0,352	0,324	0,301	0,250												
-50°	1,000	0,871	0,741	0,643	0,548	0,489	0,419	0,383	0,353	0,328	0,281	0,127											
-45°	1,000	0,876	0,754	0,660	0,568	0,528	0,465	0,406	0,377	0,353	0,307	0,169	0,055										
-40°	1,000	0,882	0,764	0,671	0,585	0,543	0,483	0,427	0,397	0,371	0,329	0,203	0,098	0,043									
-35°	1,000	0,887	0,774	0,683	0,611	0,566	0,509	0,452	0,421	0,396	0,356	0,256	0,162	0,107	0,033								
-30°	1,000	0,891	0,781	0,692	0,622	0,578	0,526	0,476	0,447	0,421	0,383	0,278	0,188	0,131	0,071								
-25°	1,000	0,895	0,788	0,701	0,633	0,590	0,538	0,489	0,461	0,435	0,398	0,316	0,230	0,174	0,106	0,048							
-20°	1,000	0,896	0,794	0,717	0,642	0,600	0,548	0,502	0,474	0,449	0,413	0,333	0,249	0,193	0,125	0,067							
-15°	1,000	0,902	0,800	0,738	0,660	0,610	0,560	0,514	0,487	0,462	0,427	0,349	0,266	0,210	0,142	0,085	0,036						
-10°	1,000	0,904	0,806	0,748	0,676	0,629	0,581	0,538	0,512	0,489	0,456	0,380	0,299	0,242	0,175	0,115	0,067	0,028					
-5°	1,000	0,913	0,821	0,768	0,693	0,649	0,602	0,561	0,525	0,499	0,468	0,396	0,315	0,258	0,190	0,131	0,078	0,032					
+0°	1,000	0,916	0,826	0,775	0,697	0,654	0,607	0,566	0,531	0,505	0,474	0,412	0,331	0,274	0,205	0,145	0,091	0,040	0,020				
+5°	1,000	0,918	0,831	0,782	0,704	0,661	0,614	0,574	0,538	0,512	0,484	0,428	0,347	0,290	0,220	0,159	0,103	0,051	0,029	0,007			
+10°	1,000	0,922	0,836	0,788	0,711	0,668	0,621	0,583	0,547	0,521	0,494	0,445	0,364	0,307	0,235	0,173	0,115	0,073	0,038	0,014			
+15°	1,000	0,924	0,842	0,794	0,717	0,674	0,627	0,588	0,552	0,525	0,498	0,455	0,374	0,317	0,245	0,183	0,125	0,083	0,048	0,020			
+20°	1,000	0,928	0,848	0,800	0,723	0,680	0,633	0,594	0,558	0,531	0,504	0,463	0,381	0,324	0,251	0,187	0,127	0,083	0,046	0,020	0,004		
+25°	1,000	0,931	0,855	0,807	0,730	0,687	0,640	0,601	0,565	0,538	0,511	0,470	0,388	0,331	0,258	0,194	0,131	0,083	0,046	0,020	0,004		
+30°	1,000	0,936	0,862	0,814	0,737	0,694	0,647	0,608	0,572	0,545	0,518	0,477	0,395	0,338	0,265	0,201	0,137	0,083	0,046	0,020	0,004		
+35°	1,000	0,941	0,870	0,822	0,745	0,702	0,655	0,616	0,580	0,553	0,526	0,485	0,403	0,346	0,273	0,209	0,145	0,091	0,054	0,026	0,009		
+40°	1,000	0,946	0,879	0,831	0,754	0,711	0,664	0,625	0,589	0,562	0,535	0,494	0,412	0,355	0,282	0,218	0,154	0,100	0,063	0,036	0,019		
+45°	1,000	0,953	0,891	0,843	0,766	0,723	0,676	0,637	0,601	0,574	0,547	0,506	0,424	0,367	0,294	0,230	0,166	0,112	0,075	0,048	0,021		
+50°	1,000	0,962	0,905	0,857	0,780	0,737	0,690	0,651	0,615	0,588	0,561	0,520	0,438	0,381	0,308	0,244	0,180	0,126	0,089	0,062	0,035		
+55°	1,000	0,973	0,923	0,875	0,798	0,755	0,708	0,669	0,633	0,606	0,579	0,538	0,456	0,399	0,326	0,262	0,200	0,146	0,109	0,082	0,055		
+60°	1,000	0,990	0,949	0,901	0,824	0,781	0,734	0,695	0,659	0,632	0,605	0,564	0,482	0,425	0,352	0,288	0,234	0,180	0,143	0,116	0,089		
+65°	1,000	1,015	0,986	0,941	0,864	0,821	0,774	0,735	0,700	0,673	0,646	0,605	0,523	0,466	0,393	0,329	0,275	0,221	0,184	0,157	0,130		
+70°	1,000	1,061	1,050	1,010	0,964	0,920	0,878	0,835	0,797	0,770	0,743	0,702	0,620	0,563	0,490	0,426	0,372	0,318	0,281	0,254	0,227		
+75°	1,000	1,169	1,182	1,139	1,083	1,027	0,975	0,923	0,877	0,850	0,823	0,782	0,700	0,643	0,570	0,506	0,452	0,400	0,363	0,336	0,309		
+80°	1,000																						
+85°	1,000																						

$A_0$  — нормировочный множитель, а  $g$  — параметр, имеющий непосредственное отношение к степени упаковки и зависящий от относительной плотности  $\rho/\rho_0$  следующим образом:

$$g = k \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{2/3},$$

где  $k \approx 2$ .

Как было обнаружено Хапке [10], изменение яркости большинства лунных деталей по данным каталога В. Федорец может быть представлено теоретической кривой при  $g=0,6$ .

Для сопоставления с фотометрически средней лунной поверхностью был произведен расчет яркости по формуле (1) при  $g=0,6$  для тех же значений аргументов  $\lambda$  и  $\alpha$ , которые фигурируют в табл. 3, и полученные данные приведены в табл. 8.

При сопоставлении данных табл. 3 и табл. 8 и рассмотрении рис. 4, на котором представлены фазовые кривые, построенные по теоретическим расчетам (пунктирная линия) и выведенные из наблюдательных данных для фотометрически средней лунной поверхности (сплошная линия), обнаруживаем, что в большом интервале значений угла фазы  $\alpha$  и селеноцентрической долготы  $\lambda$  наблюдается соответствие. Расхождения становятся существенными только для больших значений  $\lambda$  ( $\lambda > 60^\circ$ ) при малых значениях угла фазы. Это можно объяснить различными причинами. Необходимо учитывать, что для краевой зоны, где измерялось только небольшое число деталей, усредненные данные имеют небольшой вес по сравнению с данными, полученными для центральных областей, в которых измерялось большое количество деталей. В этом случае необходимо уточнить закон отражения в краевой зоне, для чего следует произвести дополнительные измерения.

Были подсчитаны по формуле значения  $\frac{\Delta B}{B_m} \pm \sigma$  относительно  $B_m$ , соответствующего  $g=0,6$ , а также значения  $\left( \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right)_0$  примерно в том же интервале угла фазы, как это определялось по данным каталога. Полученные результаты представлены в табл. 9 и нанесены на рис. 2 и рис. 3. Теоретическая зависимость между  $\Delta_0$  и  $\frac{\Delta B}{B_m}$  (и, естественно, между  $\left( \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right)_0$  и  $\frac{\Delta B}{B_m}$ , хотя по своему характеру и соответствует полученной из наблюдений, но имеется и заметное расхождение в области больших (как положительных, так и отрицательных) значений  $\frac{\Delta B}{B_m}$ .

Теория предсказывает заметно большее значение градиента  $\left( \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right)_0$  в области больших значений отклонения яркости. Прежде чем пытаться интерпретировать эту особенность, необходимо отметить, что на полученной из наблюдений величине  $\frac{\Delta B}{B_m}$ , естественно, должны были сказаться не только ошибки наблюдений, но и влияние макрорельефа, а это увеличивает дисперсию значений  $\frac{\Delta B}{B_m}$ . Следует одновременно определять и отклонения от среднего значения фактора  $g$  и величины  $\Delta\lambda$ .

Необходимо обратить внимание и на то, что полученные из наблюдений интервалы значений  $\frac{\Delta B}{B_m}$  и  $\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$  соответствуют примерно интервалу  $g$  0,1 ÷ 1,8, что, в свою очередь, соответствует изменению средней плотности в пределах от 0,011 до 0,834. Поэтому следует иметь в виду и более существенное различие в структуре областей. Для областей с большим положительным значением  $\frac{\Delta B}{B_m}$  градиент  $\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$  может быть меньше, чем это предсказывает теория, потому что там пористое вещество может чередоваться со скальными образованиями. Выявленные фотометрические особенности отдельных участков не могут интерпретироваться только как различие пористости.

Было произведено также определение  $\Delta g$  и  $\Delta \lambda$ .

Дифференцируя формулу (1), будем иметь

$$dB = \frac{\partial B}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial B}{\partial g} dg,$$

$$dB = \frac{\partial B}{\partial \lambda} d\lambda + A_0 \tau(\alpha, \lambda) \psi(\alpha) \frac{\partial b(\alpha, g)}{\partial g} dg.$$

Разделив обе части на  $B_m$  (при  $g=0,6$ ) и переходя к конечным приращениям, получим

$$\frac{\Delta B}{B_m} = \frac{1}{B_m} \frac{\partial B}{\partial \lambda} \Delta \lambda + \frac{1}{b_m(\alpha, g)} \frac{\partial b(\alpha, g)}{\partial g} \Delta g.$$

Таблица 9

$\lambda=0^\circ$								
$g$	0,1	0,2	0,5	0,6	0,8	1,0	1,4	2,0
$\frac{\Delta B}{B_m}$	-0,163	-0,122	-0,028	0,000	+0,044	+0,090	+0,162	+0,222
$\sigma$	$\pm 0,118$	0,082	0,014	0,000	0,029	0,048	0,086	0,127
$\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$	0,102	0,062	0,027	0,022	0,017	0,014	0,012	0,009
$\lambda=60^\circ$								
$\frac{\Delta B}{B_m}$	-0,153	-0,113	-0,024	0,000	0,040	0,075	0,127	0,178
$\sigma$	$\pm 0,132$	0,090	0,018	0,000	0,032	0,059	0,112	0,141
$\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$	0,103	0,052	0,028	0,023	0,018	0,015	0,013	0,010

Значения производной определялись по данным, выведенным для фотометрически средней лунной поверхности, а производная  $\frac{\partial b(\alpha, g)}{\partial g}$  определялась по соответствующей формуле на интервале 0,2 ÷ 0,6 для отрицательных значений  $\frac{\Delta B}{B_m}$  и на интервале 0,6 ÷ 1,4 — для положительных.

Система нормальных уравнений (при  $n=16-22$ ) решалась по способу наименьших квадратов, результаты приведены в табл. 10, где даны  $\Delta g$  и  $\Delta \lambda$  и соответствующие средние квадратические отклонения.

Таблица 10

Номер по каталогу	Название деталей	$\frac{\Delta B}{B_m}$	$\sigma$	$\Delta_0$	$\Delta g$	$\sigma(\Delta g)$	$\Delta \lambda$	$\sigma(\Delta \lambda)$
3	Море Кризисов . . . . .	-0,247	±0,122	+1,24	-0,48	±0,15	+2°,1	±1°,6
19	Берег рядом с Посидонием	+0,224	0,175	-0,667	+0,90	0,26	+0,6	1,9
27	Посидоний . . . . .	+0,227	0,154	-0,591	+0,90	0,25	+0,2	1,2
28	Менелай . . . . .	+0,218	0,131	-0,880	+0,88	0,22	+2,8	2,4
30	Море Изобилия . . . . .	-0,260	0,092	+1,02	-0,52	0,18	-0,3	2,7
31	Море Изобилия . . . . .	-0,186	0,058	+1,24	-0,39	0,09	+6,1	1,8
33	Море Изобилия . . . . .	-0,216	0,094	+0,809	-0,52	0,10	+6,3	1,9
68	Луч Тихо . . . . .	+0,152	0,141	-0,284	+0,36	0,18	+5,0	1,3
72	Коперник . . . . .	+0,284	0,171	-1,10	+1,2	0,24	+4,2	1,6
80	Кешлер . . . . .	+0,064	0,156	-0,342	+0,22	0,20	+4,1	2,6
102	Аристарх . . . . .	+0,116	0,277	-0,644	+0,94	0,26	-2,5	1,3
111	Пятно Вуда . . . . .	-0,170	0,068	+0,893	-0,47	0,11	-1,4	0,9
112	Светлый луч возле Аристарха	-0,202	±0,157	+0,538	-0,28	0,16	-2,6	1,6
140	Прокл . . . . .			-0,267	+0,21	±0,13	+10,8	±1,4

Полученный интервал значений  $g$  весьма велик, и следует иметь в виду сделанное раньше замечание, что выявленные фотометрические особенности могут быть связаны не только с изменением средней пористости,

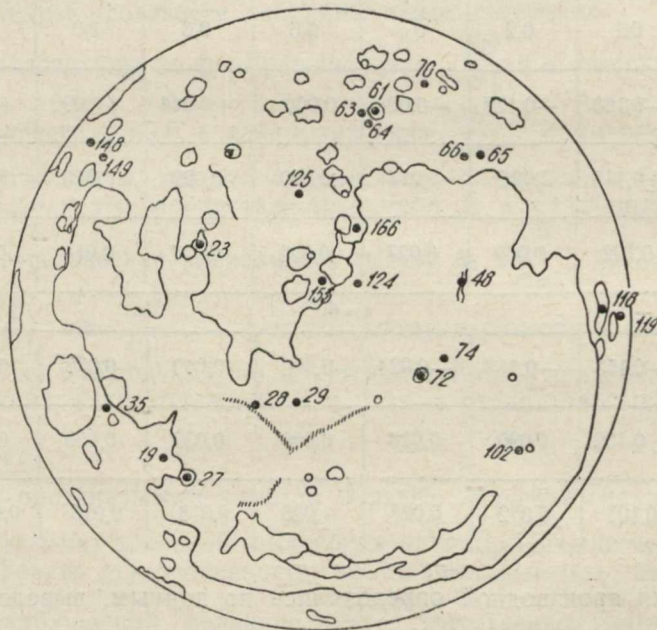


Рис. 5. Расположение деталей с  $\frac{\Delta B}{B_m} \geq 0,1$ .

но и с более существенным отличием структуры, например, наличием, наряду с пористым веществом, скальных образований.

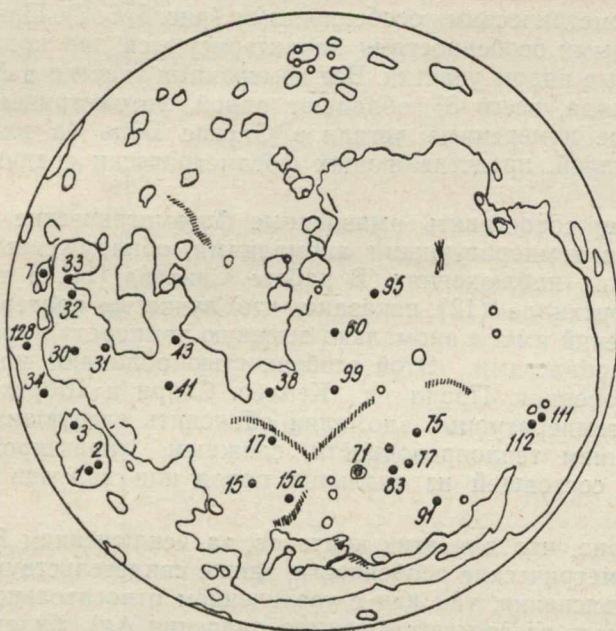


Рис. 6. Расположение деталей с  $\frac{\Delta \bar{B}}{B_m} \geq 0,1$

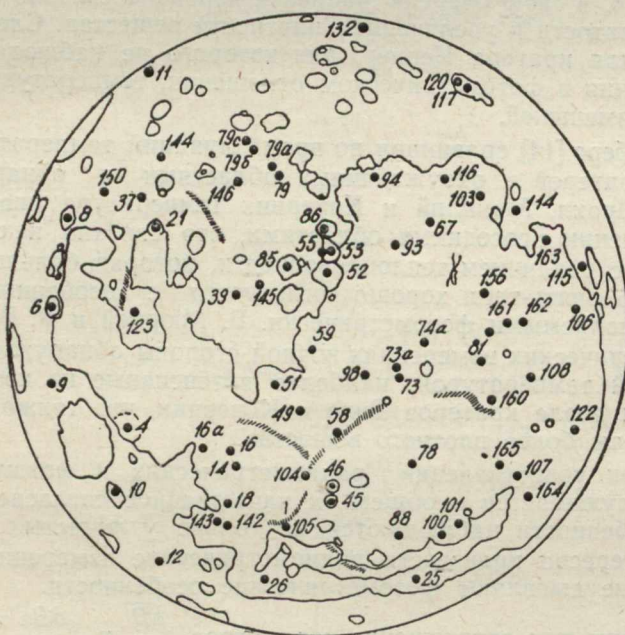


Рис. 7. Расположение деталей с  $\frac{\Delta \bar{B}}{B_m} \approx 0$ .

Интересно проследить расположение на диске Луны деталей, обладающих фотометрическими особенностями (рис. 5, 6, 7). Примечательно, что одинаковыми особенностями характеризуются дно кратера Тихо и расположенные рядом участки. Все измеренные участки в Море Кризисов (их, правда, всего 3) обладают одной фотометрической особенностью, а все измеренные детали в Океане Бурь (а их 11) входят в группу деталей, представляющих фотометрически среднюю лунную поверхность.

Интересно сопоставить выявленные фотометрические особенности с некоторыми температурными аномалиями, обнаруженными при радиометрических наблюдениях. В работе Синтона [11], а впоследствии Саари и Шортхилла (12) показано, что лучистые кратеры во время лунных затмений имеют аномально высокую температуру по сравнению с соседними областями. Этой особенностью обладают кратеры Тихо, Аристарх, Коперник, Прокл и Кеплер. Саари и Шортхилл считали возможным температурные аномалии объяснить следующими причинами: увеличением теплопроводности, сложным характером строения поверхности, состоящей из скальных пород или валунов и пористого вещества.

Характерно, что для этих кратеров, за исключением Кеплера, выявлены фотометрические особенности, также свидетельствующие в пользу такого объяснения, так как с увеличением относительной плотности (а это вытекает из соответствующего значения  $\Delta g$ ) будет возрастать и теплопроводность. Вместе с тем возможно и наличие скальных образований. Радиолокационные наблюдения, проведенные Педенжилом [13], показали наличие повышенной отражательной способности кратера Тихо, что, в свою очередь, наиболее вероятно связано с уменьшением шероховатости и увеличением плотности вещества. Следует иметь в виду, что для кратера Кеплер, для которого не наблюдается столь явного различия в фотометрическом отношении, температурная аномалия была наименьшей.

Р. Стернберг [14] сравнивал во время лунаций температуру доньев некоторых кратеров с окружающими областями и обнаружил, что у кратеров Прокл, Манилий и Коперник температура дна несколько ниже по сравнению с соседними областями, что связано не с различием в альбедо, а с различием теплопроводности, которая больше у доньев кратеров. Это опять-таки хорошо согласуется с особенностями этих кратеров, выявляемыми фотометрически. Б. Мюррей и Р. Вильдей [15] при радиометрических измерениях ночной стороны обнаружили области с повышенной температурой, наиболее интенсивные из которых концентрируются возле кратеров Тихо и Коперник, что также указывает на наличие там более плотного вещества.

Итак, при сопоставлении радиометрических и фотометрических данных обнаруживается в общем их качественное согласие. Фотометрические особенности наблюдаются не только у лучистых кратеров. Было бы интересно произвести радиометрические измерения тех кратеров, которые выявляют фотометрические особенности.

Рассмотрим еще соотношение параметров  $\frac{\Delta B}{B_m}$  и  $\left(\frac{\partial B}{\partial x}\right)_0$  с отражательной способностью, выраженной как яркостный фактор в полнолуние  $\rho_0$ . Эти сопоставления произведены на рис. 8 и рис. 9. Заметной

корреляции параметров  $\frac{\Delta B}{B_m}$  и  $\left(\frac{\partial B}{\partial x}\right)_0$  с  $\rho_0$  не обнаруживается.

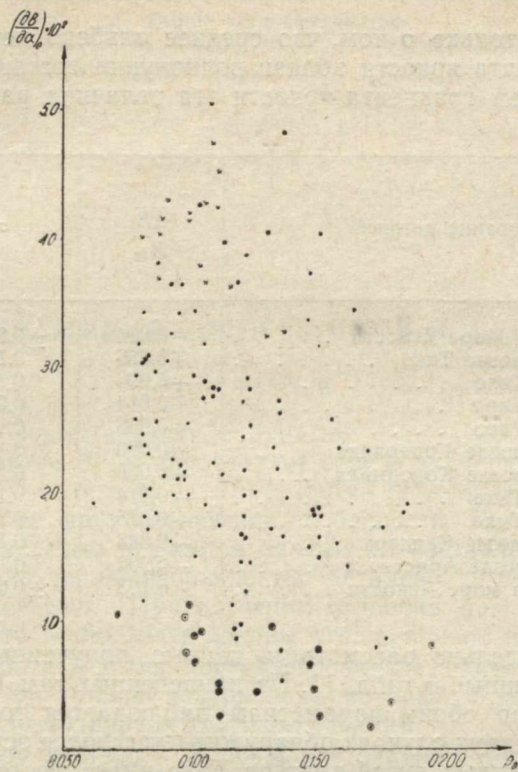


Рис. 8. Соотношение: яркостный фактор в полнолуние  $\rho_0$  — градиент яркости вблизи полнолуния  $\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0 \cdot 10^2$ .

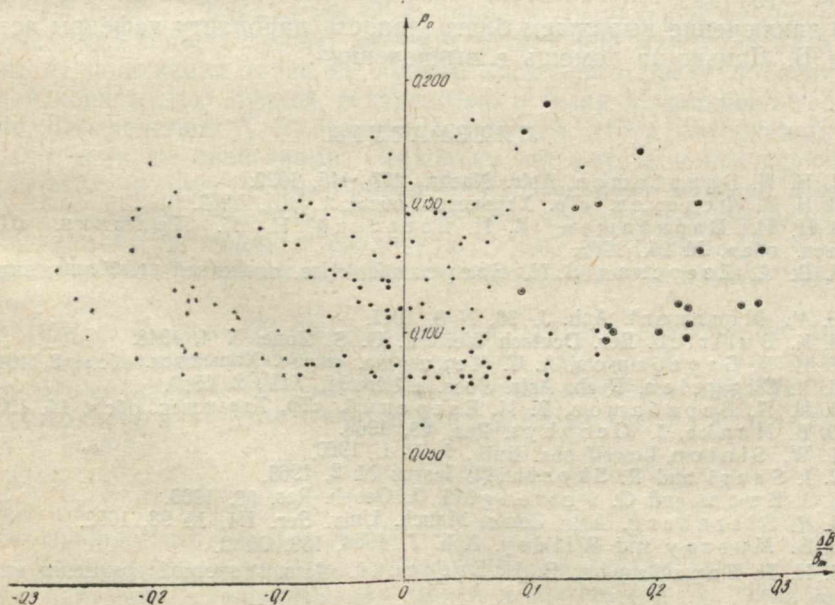


Рис. 9. Соотношение: яркостный фактор в полнолуние  $\rho_0$  — среднее относительное отклонение яркости  $\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$ .

Можно говорить только о том, что среднее альbedo деталей с малым значением градиента яркости вблизи полнолуния составляет 0,127, а с большим значением градиента яркости эта величина равна 0,111.

Таблица 11

Номер по каталогу	Название деталей	$\frac{\overline{\Delta B}}{B_m}$	$\sigma$	$\Delta_0$
13	Светлый луч в Море Ясности . . . . .	-0,014	$\pm 0,089$	+0,622
62	Светлый луч возле Тихо . . . . .	+0,086	0,192	-0,644
65	Светлый луч Тихо . . . . .	+0,096	0,160	-0,804
67	Светлый луч Тихо . . . . .	+0,014	0,083	-0,222
69	Светлый луч Тихо . . . . .	+0,038	0,157	-0,609
73	Светлый луч возле Коперника . . . . .	+0,060	0,125	+0,147
74a	Светлый луч возле Коперника . . . . .	+0,038	0,158	-0,449
79	Светлый луч Тихо . . . . .	-0,014	0,113	-0,302
79в	Светлый луч Тихо . . . . .	-0,025	0,201	-0,222
81	Светлый луч возле Кеплера . . . . .	-0,048	0,128	+0,210
112	Светлый луч возле Аристарха . . . . .	-0,202	0,157	+0,538
143	Светлый луч в море Ясности . . . . .	-0,103	$\pm 0,099$	+0,280

Интересно отдельно рассмотреть данные, полученные для светлых лучей, представленные в табл. 11. Из приведенных там 12 лучей заметное отклонение по обоим параметрам наблюдается только для трех лучей, и только в двух случаях обнаруживается более острый максимум ( $\Delta_0 > 0,5$ ). Для светлых лучей кратера Тихо имеет место обратная особенность, — и максимум более размытый ( $\Delta_0 < 0$ ), что соответствует особенности той области, по которой они проходят. Это подтверждает сделанный ранее вывод о том, что светлые лучи принимают фотометрическую структуру тех областей, через которые они проходят [16].

В заключение выражаем благодарность лаборанту кафедры астрономии В. Лацько за помощь в вычислениях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Барабашов. *Astr. Nachr.*, 217, 445, 1922.
2. В. А. Федорец. «Тр. Харьковск. obs.», 2 (10), 1952.
3. Н. П. Барабашов, В. И. Езерский, Н. П. Пришляк. «Цирк. Харьковск. obs.», № 25, 1962.
4. В. А. Езерская В. И. Езерский, «Изв. планетной комиссии», вып. 3, 1961.
5. M. Minnaert. *Aph. J.* 93, N 3, 1941.
6. K. Bullrich. *Ber. Deutsch. Wetterd. U. S. Zone*, N 4, 1948.
7. Н. П. Барабашов, А. Т. Чекирда. «Публ. Харьковск. obs.», 8, 1948.
8. V. Diggelen. *Rech. Astr. l'obs. d'Utrecht*, XIV, 2, 1960.
9. Н. П. Барабашов, В. И. Езерский. «Тр. Харьковск. obs.», 14, 1962.
10. В. Нарке, *J. Geophys. Res.* 68, 1963.
11. W. Sinton. *Lowell obs. Bull.*, 5, N 1, 1960.
12. I. Saari and R. Shorthill. *Icarus* № 2, 1963.
13. J. Ewans and G. Pettengill. *J. Geoph. Res.* 68, 1963.
14. R. Sternberg. *Astr. Contr. Manch. Univ. Ser. III*, № 98, 1962.
15. B. Murray and Wildey. *Aph. J.*, 1964, 139, № 2.
16. Н. П. Барабашов, В. И. Езерский. «Изв. планетной комиссии», вып. 2, 1960.

## О ЗАКОНЕ ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

А. А. Акимов

В настоящее время в связи с бурным развитием космонавтики всестороннее изучение Луны приобретает особое значение. При решении задач, связанных с полетами на Луну, кроме ее точных координат, необходимо знать и ее фотометрические особенности. При помощи фотометрии сейчас с успехом решаются задачи по составлению карты поверхности Луны, изучению особенностей деталей ее поверхности, ее макро- и микрорельефа. При изучении строения поверхности Луны также необходимо точно знать законы отражения от нее.

В данной работе и была поставлена задача найти общие законы отражения света от лунной поверхности, которые с достаточной степенью точности удовлетворяли бы наблюдениям.

Каким образом решались и решаются задачи, связанные с фотометрией лунной поверхности, указывается в обзоре, сделанном Н. П. Барабашовым и В. И. Езерским в их монографии [1]. Мы остановимся лишь на некоторых работах, близких по замыслу к теме, освещаемой в настоящей статье.

В 1918 г. Н. П. Барабашов [2] с помощью визуальных наблюдений установил, что яркость лунных морей в полнолуние максимальна и не зависит от положения точки на лунном диске. Этот факт объяснялся большой пористостью лунной поверхности, и была предложена теория трещин. Впоследствии А. В. Марков [3] показал, что и материка Луны обладают теми же свойствами. Несколько лет спустя в последующих работах этих авторов [4] было рассмотрено несколько моделей лунной поверхности (поры, трещины, сферические и цилиндрические углубления). Оказывается, задавая различную форму микрорельефа, можно получить законы, близкие к законам отражения света от лунной поверхности.

В 1928 г. Е. Элик [5] фотографически измерил яркость 105 точек на Луне при различных фазах. Результаты измерений представлены в звездных величинах. Для измеренных точек им была найдена зависимость яркости  $S$  от угла фазы  $\alpha$ , угла падения света  $i$  и угла отражения  $\epsilon$  в виде

$$S = a + \Delta a + kj - k'\epsilon, \quad (1)$$

где

$a$  — зависимость от угла фазы;

$\Delta a$  — относительное альbedo, постоянное для данной точки;

$k$  — параметр, различный для морей и материков и зависящий только от угла фазы;

$j = 2,5 \lg \cos i$ ;

$k'$  — параметр, различный для морей и материков, он остается примерно постоянным при углах фазы  $28^\circ - 121^\circ$ .

Эта формула не удовлетворяет закону взаимности и дает большие расхождения в краевых точках (на лимбе и терминаторе).

В 1928 г. В. Г. Фесенков совместно с Н. М. Штауде и П. П. Паренго [6, 7] из фотографических измерений, сделанных на астрографе Ташкентской обсерватории, нашли, что яркость деталей Луны удовлетворительно выражается формулой

$$B = \Gamma \frac{\cos i \left(1 + \cos^2 \frac{\alpha}{2}\right)}{\cos i + 0,225 \left(1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}\right) \cos \varepsilon}, \quad (2)$$

где

$\Gamma$  — постоянная, различная для различных деталей.

Эта формула также не удовлетворяет закону взаимности и дает большие расхождения на терминаторе.

Яркость лимба из (2)  $I_n = \Gamma \left(1 + \cos^2 \frac{\alpha}{2}\right)$  не дает острого пика при  $\alpha \rightarrow 0$ , при наблюдениях же лунной поверхности он обнаруживается.

В 1960 г. В. Г. Фесенков [8] несколько изменил вид функции (2) и предложил такое выражение для яркости:

$$I \sim \frac{\cos i \cdot f(\alpha)}{\cos i + \lambda \cos \varepsilon}, \quad (3)$$

где

$f(\alpha)$  — яркость лимба.

Рассчитывая затем интегральную яркость в предположении (3), получаем формулу в виде

$$\frac{q}{q_0} = \psi(\alpha) \cdot f(\alpha), \quad (4)$$

где

$\psi(\alpha)$  — интегральная яркость планеты, отражающей по закону Ломмеля — Зеелигера;

$f(\alpha)$  — яркость лимба.

Однако отмеченное автором хорошее согласие формулы (4) с наблюдательными данными Рессела и Ружье говорит о том, что интегральный блеск Луны зависит скорее от яркости лимба, тесно связанной с раздробленностью поверхности, чем от закона распределения яркости по диску. Отсюда и слабая зависимость от  $\lambda$ , которая теряется в ошибках измерения  $f(\alpha)$  и интегрального блеска. Области, яркость которых сильно зависит от  $\lambda$  (терминатор), вносят малый вклад в интегральный блеск. Это хорошо заметно на индикатрисах для  $i=0^\circ$  и  $i=60^\circ$ , приведенных в той же работе и вычисленных для  $\lambda=1$  и  $\lambda=0,225(1+\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2})$ .

Э. Шенберг [9] в 1925 г., используя свои измерения с поверхностным фотометром, испробовал различные эмпирические формулы для яркости Луны и пришел к выводу, что наиболее простой и сравнительно хорошо удовлетворяющей в большом интервале фаз, является формула Ломмеля — Зеелигера:

$$f(i, \varepsilon) = \frac{\cos i \cos \varepsilon}{\cos i + \lambda \cos \varepsilon}.$$

Хотя он и обнаружил для распределения яркости по диску, что  $\lambda$  зависит от фазы, однако, для удобства вычислений, принял ее равной  $1/3$ . Э. Шенберг отмечает, что его формула оказывается несправедливой лишь вблизи терминатора при  $i > 75^\circ$ .

Э. Шенберг сделал расчеты яркости поверхности, покрытой равномерно геометрически простыми фигурами. Он рассмотрел поверхность, покрытую конусами, и пришел к выводу, что наблюдениям лучше всего удовлетворяют густо расположенные конусы с малым углом раствора. Затем были исследованы поверхности, покрытые сегментообразными углублениями и возвышенностями. Однако удовлетворяя в одних условиях освещения и наблюдения, такие поверхности давали в законе отражения резкое расхождение с лунной поверхностью в других. Это указывает на неприменимость повсеместно равномерного распределения одинаковых неровностей, имеющих строго заданное, везде одинаковое положение относительно общей поверхности, хотя при других условиях эти ограничения могут иметь слабое влияние.

В 1928 г. в Ленинграде, в 1935 г. в Ереване и в 1938 г. в Ташкенте В. В. Шароновым и Н. Н. Сытинской с помощью визуального поверхностного фотометра были произведены абсолютные измерения яркости 89 деталей на Луне. Стандартизация осуществлялась двумя способами: измерением просвечивающего экрана и измерением отражающего экрана. Результаты представлены в виде таблиц коэффициентов яркости и яркостного фактора в зависимости от угла падения и отражения [10]. Зависимость же от угла фазы представлена в виде графиков.

В 1945—1946 гг. Н. П. Барабашовым и А. Т. Чекирдой [11] было получено 28 фотографий Луны с помощью лунно-солнечной камеры на шестидюймовом рефракторе с желтым фильтром. Измеряемые объекты были разбиты на группы по их происхождению и выяснилось, что яркость морей, материков и доньев кратеров меняется одинаково с фазой.

В 1948—1949 гг. на Харьковской обсерватории В. А. Федорец [12] провела фотометрию 172 лунных участков, расположенных в различных областях диска Луны при 40 значениях фаз. Снимки производились на 160-миллиметровом телескопе с помощью лунно-солнечной камеры. Результаты представлены в виде таблиц относительной яркости деталей в зависимости от фазы  $\alpha$ , угла падения  $i$  и угла отражения  $\epsilon$ , а также в виде графиков в зависимости от  $\alpha$  и  $i$ .

Фотометрические исследования Луны провел Ван Дигелен [13], измеривший снимки, полученные М. Минаертом в 1946 г. на 40-дюймовом рефракторе Иеркской обсерватории при пяти значениях угла фазы от  $11^\circ$  до  $102^\circ$ . Измеряя яркость большого количества участков, расположенных равномерно по диску, Ван Дигелен находил среднюю яркость Луны. Сравнивая ее потом с интегральными измерениями Ружье, он получил абсолютную яркость деталей. Принимая законы Ламберта, Ломмеля — Зеелигера, Е. Эпика и В. Г. Фесенкова, автор приходит к выводу, что они плохо удовлетворяют распределению яркости на лунном диске, что, конечно, и следовало ожидать. Сопоставляя свои наблюдения с наблюдениями В. В. Шаронова и В. А. Федорец, Ван Дигелен нашел хорошее согласие между ними. Эти работы дают достаточно точное представление о фотометрических свойствах лунной поверхности и в настоящее время наиболее часто используются.

Далее следует остановиться на работах Рессела [14] и Ружье [15] по интегральной фотометрии Луны. Результаты, приведенные Ресселом, представляют собой переработанные и сведенные в одну систему серии

измерений, проведенных до 1916 года. Ружье проводил детальные фотоэлектрические измерения.

Многие авторы пытались по сопоставлению индикатрис отражения света от Луны и земных образований определить, какие горные породы и образцы наиболее близко подходят по фотометрическим особенностям к Луне.

В 1944—1945 гг. Н. П. Барабашов и А. Т. Чекирда [16, 17] проводили исследование земных образцов, имеющих различную структуру поверхности. На основании проведенных измерений был сделан вывод, что образцы, состоящие из очень мелких порошков, речного песка, наждака, резко отличаются от Луны и близко удовлетворяют закону Ламберта. Наилучшее согласие с Луной дают поверхности, покрытые остроконечными неровностями.

А. Т. Чекирда, исследуя интегральную яркость шаров, покрытых различными субстанциями, пришел к заключению, что законы Ламберта, Ломмеля — Зеелигера и Эйлера резко отличаются от законов отражения света Луной.

Большое количество измерений яркостей земных образцов провела Н. С. Орлова на индикатометре Ленинградского университета [19]. Она разработала детальную классификацию земных образований по виду индикатрисы рассеяния [20] и пришла к выводу [21], что изверженные породы типа шлаков и лав наиболее близко подходят к лунным образованиям, хотя их индикатрисы и менее вытянуты, чем лунные.

В 1960—1961 гг. Н. П. Барабашов и В. И. Гаража [22] провели детальное исследование отражательных свойств дробленых туфов с размерами зерен от 0,01 до 5 мм и пришли к заключению, что такая раздробленная поверхность наиболее близко подходит к лунной.

В последующих работах Н. П. Барабашова и В. И. Езерского [23] предложенный Минаертом принцип взаимности дал возможность исследовать фотометрическую однородность лунной поверхности.

Исследования распределения яркости по диску Луны, проведенные как на основании изучения каталога В. А. Федорец, так и по фотометрическим разрезам фотографий Луны, дали возможность совершенно определенно показать, что яркость может быть представлена как функция угла фазы и селеноцентрической долготы.

Однако до сих пор измерения проводились в основном фотографически или визуально. Число выбранных по тем или иным соображениям областей, обративших на себя внимание с различных точек зрения, не превосходило 200. Массового же измерения деталей, особенно вблизи критических точек — лимба или терминатора, до сих пор не было произведено, а между тем все ранее предлагавшиеся эмпирические и полуэмпирические формулы закона отражения света лунной поверхностью (Е. Эпик, В. Г. Фесенков, Э. Шенберг) всегда давали большие расхождения именно вблизи терминатора или лимба. Нужного же количества измерений вблизи этих точек не производилось.

Всегда можно представить яркость точки на Луне в форме  $B(\alpha) = f(\alpha) \cdot \varphi(i, \varepsilon, \alpha, A)$ , где  $f(\alpha)$  — функция, постоянная для всей Луны, зависящая только от угла фазы  $\alpha$ ;  $i, \varepsilon, \alpha$  — углы падения, отражения и азимута для данной точки;  $A$  — параметр, характеризующий данную точку;  $\varphi(i, \varepsilon, \alpha, A)$  — распределение яркости по диску Луны при данной фазе.

Производя тщательные измерения распределения яркости по диску, можно более точно установить закономерности отражения света от лунной поверхности. Фазовая функция  $f(\alpha)$ , в свою очередь, может быть определена отдельно.

Фотографические измерения для этой цели мало пригодны в виду большой промежуточной обработки и сравнительно большой ошибки измерения, особенно вблизи терминатора.

Для более точного решения поставленной задачи был построен и применен электрофотометр, принципиальная схема которого представлена на рис. 1, и разработана соответствующая методика наблюдений,

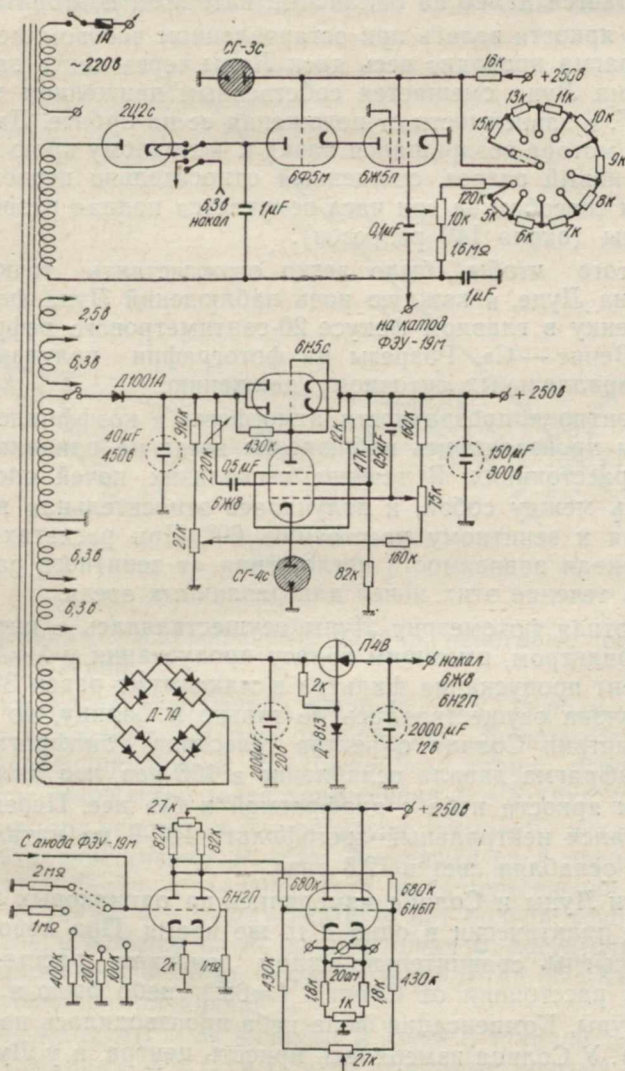


Рис. 1.

которая дает возможность легче определить фазовую кривую  $f(\alpha)$ , используя для привязки звезды, и позволяет сразу получать распределенные яркости по долготе.

Наблюдения велись на 27-сантиметровом рефлекторе Харьковской астрономической обсерватории в эквивалентном фокусе  $F=12$  метров. В фокусе системы помещались две диафрагмы: одна зеркальная, вырезающая 14 кв. сек., другая — стальная нешлифованная, вырезающая около 2000 кв. сек. дуги, используемая при фотометрии звезд. Диаф-

рагмы располагались под углом  $20^\circ$  к фокальной плоскости системы. Изображение Луны на диафрагме можно было рассматривать в микроскоп.

За диафрагмой располагалась камера для светофильтров, и сразу же за ней—катод фотоумножителя ФЭУ—19М. В одном кожухе с фотоумножителем смонтирован и усилитель на 6Н2П, сигнал с которого по кабелю подается далее на балансный катодный повторитель на 6Н6П.

Запись яркости велась при остановленном часовом механизме. При этом диафрагма проходит весь диск Луны через центр за две минуты. За это время Луна смещается собственным движением по склонению на  $10'' \div 20''$ , в зависимости от положения ее на орбите. Далее, телескоп с помощью мотора возвращался назад к исходному краю за  $10-15$  сек. и делался новый разрез, смещенный относительно первого по склонению. Таким способом за три часа получается полная развертка изображения Луны (около 140 разрезов).

Для того чтобы было легко отождествить точки на разрезе с точками на Луне, в каждую ночь наблюдений Луна фотографировалась на пленку в главном фокусе 20-сантиметрового рефрактора фотокамерой «Зенит—С». Разрезы на фотографии получаются в виде прямых, параллельных суточному движению.

Для контроля прозрачности атмосферы и коэффициента усиления аппаратуры производились наблюдения звезд на одинаковых с Луной зенитных расстояниях. В течение нескольких ночей опорные звезды связывались между собой, и получалась относительная яркость звезд, приведенная к зенитному расстоянию  $60^\circ$ . При расчетах принималась средняя кривая зависимости поглощения от зенитного расстояния, полученная в течение этих ночей для различных звезд.

Абсолютная фотометрия Луны осуществлялась с интерференционным светофильтром, имеющим полосу пропускания у  $\lambda = 440$   $m\mu$  и  $10m\mu$ . Коэффициент пропускания фильтра в максимуме равен 30%. Для контроля привязка осуществлялась не только к Солнцу, но и к Капелле. При фотометрии Солнца объектив телескопа диафрагмировался до 2,5 см. Диафрагма давала ослабление в 108 раз, что было найдено по измерениям яркости неба с диафрагмой и без нее. Перед диафрагмой устанавливался нейтральный светофильтр НС-9 из каталога цветного стекла. Он ослаблял свет в 12,8 раза.

Яркости Луны и Солнца измерялись на одинаковых зенитных расстояниях и практически в одно и то же время. При хорошей прозрачности атмосферы сравнительно малом зенитном расстоянии ( $z \approx 45^\circ$ ) и большом расстоянии от Солнца ( $\approx 60^\circ$ ) небо было в четыре—пять раз ярче Луны. Компенсация фона неба производилась потенциометром  $P_2$  (рис. 1). У Солнца измерялась яркость центра, а у Луны — яркость лимба.

Из этих измерений получаем, что Океан Бурь вблизи Гримальди имеет коэффициент яркости  $r = 0,057$ .

Когда Луна находилась на одинаковой высоте с Капеллой, фотометрировалась и Капелла. На Луне диафрагма вырезала 14 кв. сек. дуги. Вблизи полнолуния яркость этой площадки на Луне была близкой к яркости Капеллы, так что измерения проводились при одном и том же напряжении на фотоумножителе и одинаковом усилении остальной части системы.

При расчетах коэффициента яркости принято  $m_0 - m_k = -26,94$ .

Из этих измерений получен коэффициент яркости  $r$  для Океана Бурь вблизи Гримальди 5,8% в полнолуние. Среднее значение коэффициента яркости  $r$ , определенное по Солнцу и Капелле, равно 5,75%. Это хорошо совпадает с коэффициентом яркости, найденным В. В. Шароновым [10]. Эта точка и использовалась потом при фотометрии Луны.

Теперь рассмотрим некоторые особенности отражения света от сильно раздробленных поверхностей. Здесь будут приведены самые элемен-

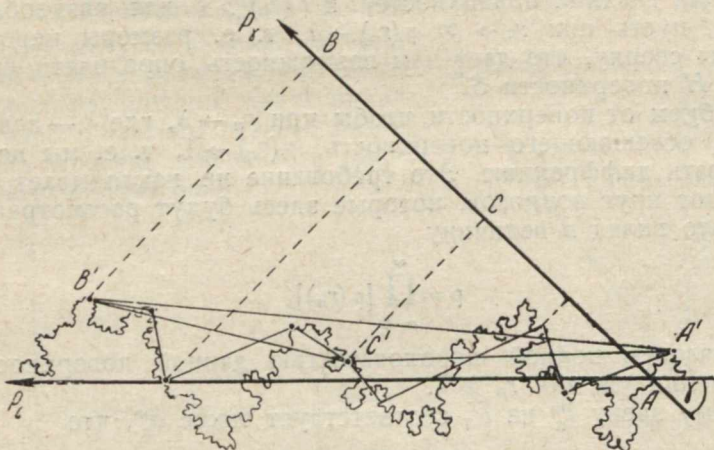


Рис. 2.

тарные соображения, раскрывающие, однако, некоторые особенности отражения света Луной.

Пусть мы имеем раздробленную поверхность  $S$ . Допустим, что нам известна средняя плоскость  $H$  этой поверхности. Возьмем какую-либо плоскость  $L$ , перпендикулярную  $H$ . Пусть  $P_0$  — линия пересечения  $L$  с  $H$  и пусть  $M$  — множество точек пересечения  $L$  с  $S$  (рис. 2).

Пусть, далее, под углом  $\gamma$  к  $P_0$  проведена прямая  $P_\gamma$  в плоскости  $L$ . Пусть  $A$  — точка пересечения  $P_\gamma$  с  $P_0$ . Восставим из  $A$  перпендикуляр к  $P_\gamma$  в плоскости  $L$ . Пусть  $A'$  — граничная точка пересечения перпендикуляра с  $M$ , т. е. такая, что между ней и  $\infty$  нет больше точек, принадлежащих  $M$ . Теперь возьмем на  $P_\gamma$  другую точку  $B$ , достаточно удаленную от  $A$ , и отыщем аналогичным образом точку  $B'$  на  $M$ . Точки  $A'$  и  $B'$  соединим отрезком прямой длиной  $l_0$ .

Разделим отрезок  $AB = d_0$  пополам в точке  $C$  и точно так же отыщем точку  $C'$ . Соединим  $A'$  с  $C$  и  $C'$  с  $B'$  отрезками прямых и получим ломаную общей длиной  $l_1$ . Разбивая отрезки  $AC$  и  $CB$  снова пополам получаем ломаную  $l_2$  и т. д. При  $n$ -ом разбиении мы получаем ломаную общей длиной  $l^n$ , состоящую из  $2^n$  звеньев. Пронумеруем звенья ломаной от  $A'$  до  $B'$  и пусть  $l_n^m$  есть  $m$ -ое звено ломаной  $l_n$  при  $n$ -ом делении.

Обозначим  $\varphi_n^m$  — угол наклона  $m$  звена ломаной  $l_n^m$  к  $P_\gamma$ .

Отношение

$$\rho(r_n) = \frac{l_n}{l_{n-1}} \quad (1)$$

при  $\gamma = 0$  назовем „коэффициентом шероховатости“ поверхности относительно данного

$$r_n = \frac{l_n}{2\pi}. \quad (2)$$

Исходя из (1) и (2), можно написать

$$\rho(r_n) = \frac{2r_n}{r_{n-1}}, \quad (3)$$

$\rho(r_n) = 1$  для гладких поверхностей и  $\rho(r_n) > 1$  для раздробленных. Далее, пусть при  $r_n \rightarrow \infty$   $\rho(r_n) \rightarrow 1$ , т. е. размеры неровностей ограничены сверху, что дает нам возможность определять среднюю плоскость  $H$  поверхности  $S$ .

Потребуем от поверхности, чтобы при  $r_n \rightarrow \lambda$ , где  $\lambda$  — длина волны света, освещающего поверхность,  $\rho(r_n) \rightarrow 1$ , т. е. мы не будем рассматривать диффракцию. Это требование не накладывает ограничений на тот круг вопросов, которые здесь будут рассмотрены, при условии, что вклад в величину

$$\rho = \prod_{n=0}^{\infty} [\rho(r_n)], \quad (4)$$

которую назовем полной шероховатостью данной поверхности, достаточно велик уж для  $r_n \gg \lambda$ .

Каждому звену  $l_n^m$  на  $P_\gamma$  соответствует такое  $a_n^m$ , что

$$a_n^m = l_n^m \cdot \cos \varphi_n^m, \quad (5)$$

$a_n^m$  для всех звеньев одинаковое по величине,  $m$  — указывает его положение на  $P_\gamma$ . Пусть  $b_n^m$  — проекция  $l_n^m$  на прямую в плоскости  $Z$ , перпендикулярную  $P_\gamma$ ,

$$b_n^m = a_n^m \operatorname{tg} \varphi_n^m \quad (6)$$

и принимает положительные и отрицательные значения в зависимости от  $\varphi_n^m$ .

Очевидно, что для любой поверхности

$$\sum_{\substack{m=1 \\ n \rightarrow \infty}}^{2^n} b_n^m = a_0 \operatorname{tg} \gamma. \quad (7)$$

Для гладких поверхностей в формулу (7) дают вклад все элементы поверхности; для сильно раздробленной поверхности основной вклад в эту сумму будут вносить лишь тени от неровностей. Величины  $a_n^m$ , соответствующие тем  $l_n^m$ , которые дают основной вклад в (7), имеют меру ноль на  $P_\gamma$ , поэтому, если мы их выбросим, количество освещенных элементов не изменится.

Выбросив таким образом некоторое количество  $l_n^m$ , на которые падает очень мало света при освещении поверхности под углом  $\gamma$  и которые таким образом, не участвуют в рассеянии света от данной поверхности, а составляют лишь ее тени, для оставшихся  $l_n^m$  мы составим

$$\frac{\sum \varphi_n^m}{2^n}, \quad (8)$$

т. е. найдем средний наклон оставшихся звеньев к  $P_\gamma$ .

Для сильно и беспорядочно раздробленных поверхностей выражение (8) равно 0, т. е.

$$\overline{\varphi_n^m} = 0. \quad (9)$$

Это основное требование, накладываемое на нашу кривую, образованную пересечением  $L$  с  $S$ .

Далее ясно, что, если при  $r_n \rightarrow \lambda \rho_n$  достаточно велико, чтобы пренебречь  $l_n^m$ , дающими вклад в (7), и выполняется (9), то распределение яркости в полнолуние по диску будет постоянным и количество освещенных элементов  $l_n^m$  пропорционально  $\cos i$ , ( $i$ —угол падения) а видимых— $\cos \varepsilon$ , ( $\varepsilon$ —угол отражения света).

Теперь рассмотрим, какой вклад в тень вносят частицы разного размера. Пусть строение поверхности такое, что на неровностях боль-

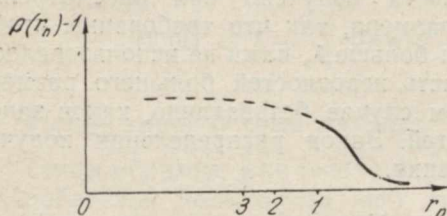


Рис. 3.

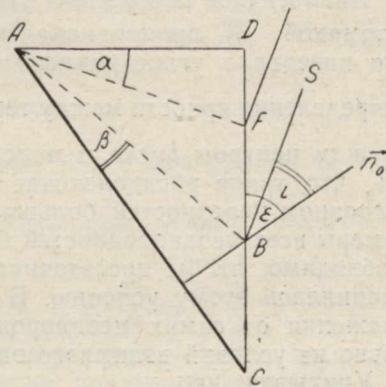


Рис. 4.

шего размера распределены неровности меньшего, так что они равномерно заполняют поверхность, образованную неровностями большего размера, и  $\rho(r_n) - 1$  имеет вид примерно такой, как на рис. 3. И пусть  $R_1$  — средний размер неровностей от  $\infty$  до точки 1 на рис. 3,  $R_2$  — от точки 1 до точки 2 и т. д.

Пусть  $AC$  (рис. 4) лежит на  $P_0$  (рис. 2).  $AD$  — размер видимого участка на Луне. Берем площадку на экваторе интенсивности.  $\triangle ADC$  лежит в плоскости экватора интенсивности.  $DC$  — общая величина теней, определяемая выражением (7). Пусть  $BC = kDC$  — вклад в (7) частиц размером  $R_1$ ;  $p_0$  — нормаль к  $AC$ . Поверхность освещена в направлении  $SB$ ;  $i$  — угол падения света на поверхность,  $\varepsilon$  — угол отражения.

Если нет рассеяния второго порядка и диффракции ( $R_1 \gg \lambda$ ), то количество отраженного света в направлении  $\varepsilon$  не изменится, если мы все отражающие площадки сместим, начиная от  $A$  до  $C$ , на величину теней, вкладываемых  $R_1$  в (7). Тогда мы получим новую поверхность  $AB$ , которая в направлении  $\varepsilon$  отражает столько же света, сколько и  $AC$ . В фотометрическом смысле можно рассматривать поверхность  $AB$ , как новую, расположенную в другом месте Луны с долготой  $\varepsilon - \beta$  и с неровностями  $R_2$  и меньше. Вклад неровностей  $R_2$  в (7) для этой поверхности будет равен  $k_1 \cdot BD$ .

Точки 1, 2, 3... на рис. 3 взяты так, что  $k = k_1$ . Это соответствует приблизительно тому случаю, когда отношение числа неровностей размера  $R_1$  к числу неровностей размера  $R_2$  такое же, как для  $R_2$  и  $R_3$  соответственно и т. д.

Надо заметить, что в случае прямоугольной поверхности с шириной и глубиной прямоугольника, равной  $a$ , коэффициент  $k \approx 0,5$ , так что

уже при больших  $R$  мы можем быстро достигнуть точки  $F$ . Перемещая элементы поверхности по теням все меньших  $R$ , дойдем до  $F$ , когда  $\beta(R_1, R_2, \dots) = i$ . Дальше передвигать мы не имеем права, так как уже начнется затенение ранее освещенных и видимых элементов.

Поверхность  $AF$ , образованная таким образом, отражает света столько же, сколько и вся  $AC$ . Однако угол между отраженным на Землю лучом и нормалью к ней равен  $\alpha$ , и он не зависит от  $i$  и  $\epsilon$ , т. е. мы получаем, что для участков между лимбом и подсолнечной точкой отражение зависит только от угла фазы  $\alpha$  и не зависит от  $i$  и  $\epsilon$ . Распределение яркости в этой области будет постоянным.

Аналогичное построение при учете, что количество видимых звеньев ломаной  $I_n^m$  пропорционально  $\cos \epsilon$ , а освещенных —  $\cos i$  для каждого интервала углов наклона звеньев ломаной, приводит к функции распределения яркости между терминатором и центром диска вида  $\frac{\cos i}{\cos \epsilon}$ , а между центром диска и подсолнечной точкой —  $\cos i$ . Нужно заметить, что такое распределение яркости получено при рассмотрении в основном неровностей большого размера, так что требование, чтобы размеры всех неоднородностей были больше  $\lambda$ , нами не использовалось. Необходимо, чтобы достаточная часть неровностей большого размера подчинялась этому условию. В этом случае безразлично, каков закон отражения от самих неоднородностей. Закон распределения получен только из условий взаимного затенения.

Учитывая, что

$$\cos i = \cos(\alpha - \lambda) \cos \xi,$$

$$\cos \epsilon = \cos \lambda \cos \xi,$$

где  $\xi$  — широта;

$\lambda$  — долгота точки на Луне, отсчитываемая от центрального меридиана в сторону Солнца, можно записать для экватора интенсивности

$$\varphi(\lambda, \alpha) = \cos^{\theta_1}(\alpha - \lambda) \cos^{\theta_2 - 1} \lambda, \quad (11)$$

где

$$\theta_1 = \theta(-\lambda) \theta[90^\circ - (\alpha - \lambda)] + \theta(\alpha - \lambda) \theta(\lambda),$$

$$\theta_2 = \theta(\lambda - \alpha) \theta(90^\circ - \lambda) + \theta(\alpha - \lambda) \theta(\lambda),$$

$\theta = 1$  при положительном значении аргумента и  $\theta = 0$  при отрицательном значении аргумента.

$\varphi(\lambda, \alpha)$  — распределение яркости по экватору интенсивности. Оно удовлетворяет закону взаимности.

Полученный закон отражения по экватору интенсивности от раздробленной поверхности хорошо удовлетворяет закону отражения света Луной и раздробленными земными образованиями, о чем будет сказано ниже. При распространении его на всю Луну, а не только на экватор интенсивности, нужно рассматривать построения аналогично приведенным выше. Перемещая элементы по теням до тех пор, пока освещенные и видимые раньше точки остаются еще освещенными и видимыми, т. е. пока не появятся дополнительные затенения, мы найдем, что полученные при помощи такого перемещения поверхности эквивалентны поверхностям, полученным аналогично на экваторе интенсивности на одном и том же меридиане, т. е. распределение яркости не зависит от широты. Таким образом, формула (11) распределения яркости по экватору интенсивности будет справедлива для всего диска. Правда, нужно отметить, что на полюсах, особенно при больших фазах, будет наблюдаться отклонение от постоянства по меридиану в виду экранировки макрорельефа.

Распространив таким образом формулу (11) на весь диск, мы можем вычислить интегральный блеск Луны с таким распределением по диску.

Исходя из рассмотренного выше, яркость любой точки на Луне можно представить в виде

$$B(\alpha) = B_0 f(\alpha) \cdot \varphi(\lambda, \alpha), \quad (12)$$

где

$B_0$  — яркость в полнолуние;

$\varphi(\lambda, \alpha)$  — распределение яркости по диску;

$f(\alpha)$  — инвариантная фазовая функция, зависящая только от угла фазы и от  $B_0$ , если есть рассеяние высших порядков.

Интегрируя (12) по всему диску и полагая, что  $\bar{B}_0$  — средняя яркость деталей при  $\alpha=0$ , мы получим зависимость

$$\chi(\alpha) = B_0 f(\alpha) \Psi(\alpha), \quad (13)$$

где

$\Psi(\alpha)$  — интеграл от  $\varphi(\lambda, \alpha)$  по всему диску при данном  $\alpha$ ,

$$\Psi(\alpha) = 1 - \frac{3}{4} \sin \alpha + \frac{1}{4} \alpha \cos \alpha \text{ для } \alpha \leq 90^\circ;$$

$\Psi(\alpha)$  — имеет острый пик при  $\alpha \rightarrow 0$ , т. е.  $\frac{d\Psi}{d\alpha} = -\frac{1}{2}$ .

Таким образом, уже только один закон распределения по диску для раздробленной поверхности дает конечную производную при  $\alpha \rightarrow 0$ , в отличие от законов Ламберта и Ломмеля—Зеелигера, для которых

$\frac{d\varphi}{d\alpha} = 0$ . Интересно оценить порядок раздробленности и полной шероховатости той или иной поверхности по виду закона отражения света от нее.

Очевидно, что здесь надо использовать область фазовой кривой вблизи  $\alpha = 0$ , так как она наиболее чувствительна к дисперсности поверхности, и отражение от раздробленной поверхности резко отличается в этой области от законов Ламберта и Ломмеля—Зеелигера для гладких поверхностей.

Однако здесь возникает затруднение в выборе критерия, характеризующего порядок раздробленности и полную шероховатость поверхности. Фазовая кривая  $f(\alpha)$ , выраженная через величины, характеризующие состояние поверхности, могла бы указать на порядок раздробленности и шероховатости. Определять же фазовую кривую  $f(\alpha)$  в предположении сильной раздробленности трудно, хотя для некоторых типов поверхностей возможно. Пока что попытки в данном направлении не привели к желаемому результату, поэтому оценку величин шероховатости порядка раздробленности проведем упрощенным способом, дающим только представление об этих величинах.

Если заменить шероховатую поверхность некоторой прямоугольной структурой (рис. 5), то для такой поверхности  $\rho = \frac{\Pi}{n} \rho(r_n) = \frac{b}{a}$ . Фазовая кривая отражения от такой поверхности при  $\varepsilon = 0$  вблизи  $\alpha = 0$  будет иметь вид  $1 - \frac{b}{a} \cdot \frac{\alpha}{2}$ .

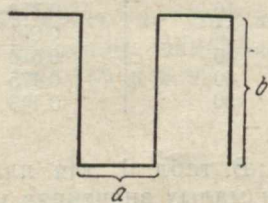


Рис 5.

Для Луны, о чем будет сказано ниже, ход  $f(\alpha)$  вблизи полнолуния можно представить формулой  $f(\alpha) = 1 - 3,4 \frac{\alpha}{2}$ . Значит, если шероховатую лунную поверхность заменить эквивалентной в некотором смысле прямоугольной структурой, то  $\rho = 3,4$ . Если аппроксимировать лунную поверхность прямоугольной структурой различного порядка  $c \frac{b}{a} = 1$ , то тогда отражение от нее при  $\alpha \rightarrow 0$  будет  $(1 - \frac{\alpha}{2})^n$ , где  $n$  — порядок структуры, равный 3,4. Таким образом, можно с некоторой уверенностью говорить о порядке раздробленности или полной шероховатости, заключенной для Луны в пределах 3÷4, что указывает на чрезвычайную раздробленность поверхности Луны.

Термин «раздробленность» здесь несколько условен, потому что поверхность Луны может иметь и пористую структуру, тогда  $n = 3 \div 4$  — порядок пористости, однако, для закона отражения это не имеет большого значения, потому что пористая и раздробленная поверхность в некотором смысле дополняют друг друга и в фотометрическом отношении одинаковы. И, конечно, соединение того и другого приведет к закону отражения, подобного Лунному. Это хорошо подтверждается измерениями Н. П. Барабашова [22, 31], проведенными для раздробленных туфов и губки. Далее нужно заметить, что в принципе любая земная порода, за исключением сильно зеркалящих, имеющих альbedo < 10—20%, при соответствующем дроблении может дать закон отражения, близкий к лунному. Так что предполагать, что та или иная порода не может существовать на Луне только потому, что закон отражения от нее не удовлетворяет лунному, нельзя; здесь всегда надо быть весьма осторожным.

Таблица 1

Угол фазы $\alpha$	Функция $f(\alpha)$ при малых значениях угла фазы			
	Луна	Губка	Туф дробленный	Дробленые андезито-базальтовые лавы
0	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,773	0,83	0,80	0,79
20	0,607	0,69	0,65	0,64
30	0,520	0,58	0,51	0,52
40	0,475	0,48	0,43	0,42
50	0,443	0,44	0,34	0,35

В табл. 1 для иллюстрации сказанного приведена функция  $f(\alpha)$  при малых значениях угла фазы.

Результаты для Луны взяты из измерений, о которых будет сказано ниже. Данные для губки и туфа взяты из работы [31]. Измерения для андезито-базальтовых лав, образец из которых был изготовлен так же, как и образец из туфа, описанный в работе [31], производились на том же индикатометре.

Установив, таким образом, некоторый закон распределения по диску для раздробленных поверхностей, мы сделали попытку применить его для Луны, что привело к хорошему согласию формулы (11) с распределением яркости по диску Луны.

Дальнейшая обработка фотометрических разрезов, полученных с электрофотометром, о котором говорилось выше, производилась следующим образом.

На фотографии Луны, полученной в момент наблюдения, наносились прямые, для которых была записана яркость, и таким образом отождествлялись детали на Луне. На той же фотографии проводились и кривые, по которым шел разрез в одно из полнолуний 15 августа 1962 г., 9 мая 1963 г., 6 июля 1963 г. и 3 октября 1963 года.

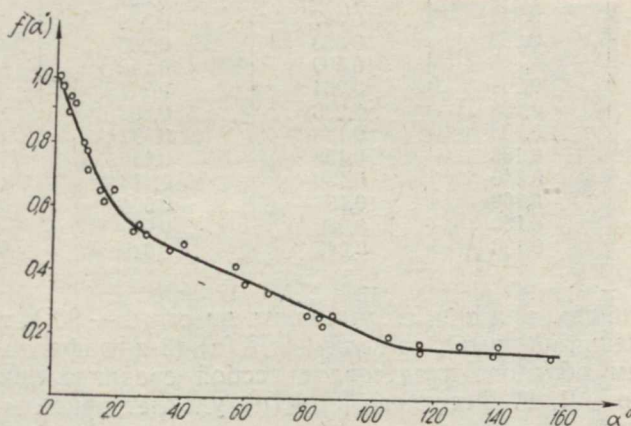


Рис. 6.

Далее измерялась яркость точек, общих на разрезах в полнолуние и при данной фазе. Для измеренных точек вычислялись фотометрические координаты: относительно экватора интенсивности  $\xi$  и центрального меридиана  $\lambda$ , перпендикулярного экватору интенсивности. Для этих точек вычислялась величина

$$f(\alpha) = \frac{B_{\alpha}}{B_0 \varphi(\lambda, \alpha)}, \quad (15)$$

где

$B_{\alpha}$  — яркость точки при данной фазе  $\alpha$ ;

$B_0$  — яркость точки в полнолуние;

$\varphi(\lambda, \alpha)$  — функция, учитывающая распределение яркости по диску Луны в соответствии с формулой (11).

Точки, для которых вычислялась  $f(\alpha)$ , выбирались не слишком далеко от экватора интенсивности. Они были в основном заключены в полосу  $\varphi < \pm 70^\circ$  для фаз  $\alpha < 90^\circ$  и  $\varphi < \pm 40^\circ$  для фаз  $\alpha > 90^\circ$ .

Затем для этих точек вычислялась величина

$$\bar{f}(\alpha) = \frac{\sum_{j=1}^n f_j(\alpha)}{n}, \quad (16)$$

где

$n$  — количество измеренных точек при данной фазе (их было обычно  $200 \div 600$ );

$f_j(\alpha)$  — величина, определенная для  $j$  точки по формуле (15).

Всего за период наблюдений было измерено 34 фазы Луны. Для этих фаз построена функция  $f(\alpha)$  в соответствии с формулой (16). Вид этой функции в зависимости от угла фазы представлен на рис. 6 и в табл. 2 (2-ая графа).

Таблица 2

$\alpha$	$\bar{f}(\alpha)$	$\bar{f}_2(\alpha)$	$(1 + 3,4 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})^{-1}$	$\kappa(\alpha)$
0	1,000	1,000	1,000	0,000
10	0,773	0,773	0,770	0,012
20	0,607	0,607	0,625	0,030
30	0,520	0,520	0,520	0,050
40	0,475	0,475	0,446	0,080
50	0,443	0,443	0,387	0,110
60	0,397	0,397	0,338	0,145
70	0,353	0,353	0,296	0,173
80	0,300	0,300	0,258	0,216
90	0,264	0,264	0,227	0,250
100	0,225	0,223	0,198	0,234
110	0,200	0,188	0,172	0,167
120	0,183	0,158	0,145	0,080
130	0,170	0,130	0,113	—
140	0,169	0,108	0,096	—
150	0,160	0,080	0,074	—
160°	0,138	0,047	0,049	—

Если эту функцию при  $\alpha > 90^\circ$  умножить на  $\cos(\alpha - 90^\circ)$ , т. е. на косинус угла падения на лимбе, то величина  $f_2(\alpha)$  (3-я графа, табл. 2), полученная таким образом, представляет собой среднюю яркость лимба, как и в работе В. Г. Фесенкова [8].  $f_2(\alpha)$  удовлетворительно представляется формулой

$$\bar{f}_2(\alpha) = \left(1 + n \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}\right)^{-1}. \quad (17)$$

В 4-й графе табл. 2 приведено значение функции  $(1 + n \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})^{-1}$ , где  $n=3,4$

Среднеквадратичная ошибка определения  $\bar{f}(\alpha)$  в зависимости от фазы равна  $\pm 4,5\%$ , что, по-видимому, и является точностью абсолютной привязки, сделанной в настоящей работе.

Далее при обработке вычислялась для каждой точки при данной фазе величина

$$c(\alpha) = \frac{f(\alpha)}{\bar{f}(\alpha)}, \quad (18)$$

так что  $c(\alpha) = 1$ .

Таким способом было обработано 10 разрезов полнолуния 6 июля 1963 года. В полнолуние 6 июля 1963 г. было получено всего 10 разрезов, так как Луна не двигалась по склонению. На рис. 7 указано, где проходили эти разрезы. Во время полнолуния 15 августа 1962 г., 9 мая 1963 г. и 3 октября 1963 г. измерения проводились от полюса к полюсу. К этим полнолуниям привязка осуществлялась тогда, когда разрезы при данной фазе и в одно из этих полнолуний шли параллельно, а также в тех случаях, когда в силу каких-либо причин не удавалось полностью измерить всю Луну при данной фазе. Особенно это относится к фазам, большим  $90^\circ$ , когда время наблюдений ограничено, так как Луна малое время находится над горизонтом.

Величины, вычисленные по формуле (18), наносились на график, где по оси ординат откладывалась  $c(\alpha)$  для данной точки при фазе  $\alpha$ , а по оси абсцисс относительная яркость в полнолуние

$$B'_0 = \frac{B_0}{B_{0\text{cp}}}, \quad (19)$$

где  $B_{0\text{cp}}$  — средняя яркость измеряемых деталей в полнолуние;

$$B_{0\text{cp}} = \frac{\sum_{j=1}^n B_{0j}}{n}.$$

Здесь  $n$  — количество измеряемых точек;

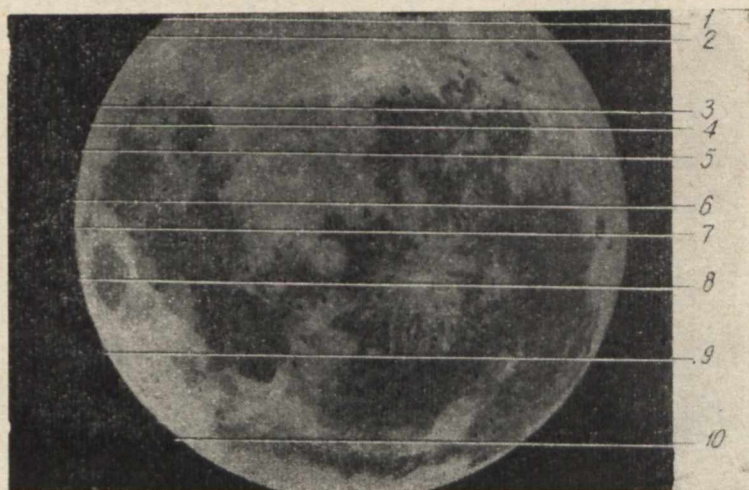


Рис. 7.

$B_{0j}$  — яркость  $j$  точки в полнолуние. На таких графиках  $c(\alpha)$  можно представить линейной зависимостью

$$c(\alpha) = c_0(\alpha) + k(\alpha)B'_0. \quad (20)$$

Коэффициент  $k(\alpha)$  в зависимости от фазы  $\alpha$  представлен на рис. 8 и в 5-й графе табл. 2.

Среднеквадратичное отклонение значений  $c(\alpha)$ , вычисленных по (20), изменяется с фазой. Например, для фазы  $29^\circ$  оно составляет  $\pm 3\%$ , для фазы  $57^\circ$  —  $\pm 3,5\%$ , для фазы  $84^\circ$  —  $\pm 4\%$ , для фазы  $115^\circ$  —  $\pm 4,5\%$ .

Для фаз, больших  $115^\circ$ , зависимость  $c(\alpha)$  от  $B'_0$  не определялась, так как  $k(\alpha)$  становится малым и на вид  $c(\alpha)$  уже сильное влияние оказывает наклон измеряемых площадок к средней Луне, т. е. макрорельеф, который не учитывался при вычислениях  $c(\alpha)$ ; в лучшем случае отбрасывались те точки, наклон которых очевиден. Поэтому среднеквадратичная ошибка растет с фазой.

Однако, имеется тенденция дальнейшего уменьшения  $k(\alpha)$  при больших фазах и даже переход его в отрицательную область, по-видимому, из-за экранировки большими неровностями на материках. Особенно это заметно при сравнении Моря Кризисов и Моря Изобилия с прилегающими материками.

Из формулы (18) имеем

$$B_\alpha = B_0 c(\alpha) f(\alpha) \varphi(\lambda, \alpha).$$

Подставляя сюда (20) и учитывая (19), получим

$$B_\alpha = B_0 \varphi(\lambda, \alpha) \overline{f(\alpha)} \left[ 1 + k(\alpha) \left( \frac{B_0}{B_{0\text{cp}}} - 1 \right) \right]. \quad (21)$$

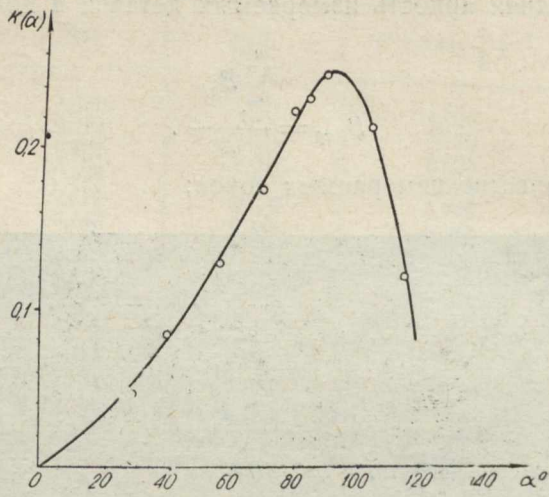


Рис. 8.

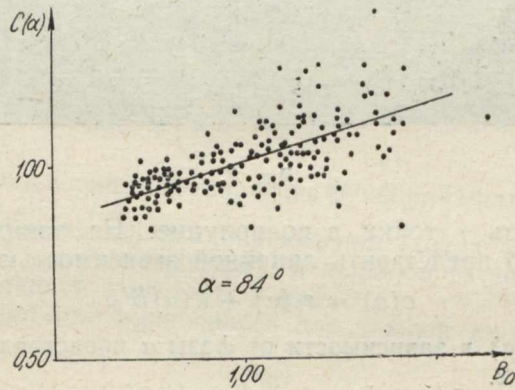


Рис. 9.

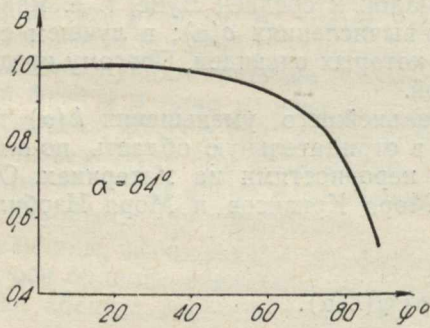


Рис. 10.

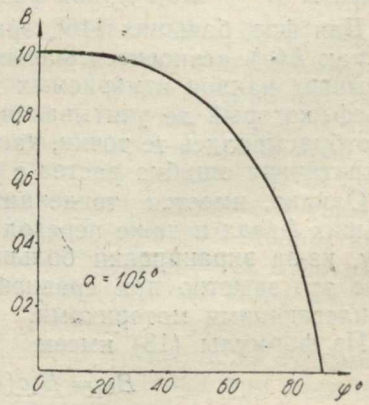


Рис. 11.

Значение  $f(\alpha)$  представлено в графе 2 табл. 2. Для иллюстрации на рис. 9 приводим зависимость  $s(\alpha)$  от  $B'_0$  для  $\alpha = 84^\circ$ .

Кроме того, были произведены специальные измерения распределения яркости по лимбу Луны в зависимости от широты точек. Останавливался часовой механизм, и Луна суточным движением проходила через диафрагму. Микрометрическим винтом по склонению диафрагма всегда удерживалась на лимбе. При каждой фазе производилось пять—шесть таких разрезов, и затем вычислялась средняя яркость по этим разрезам.

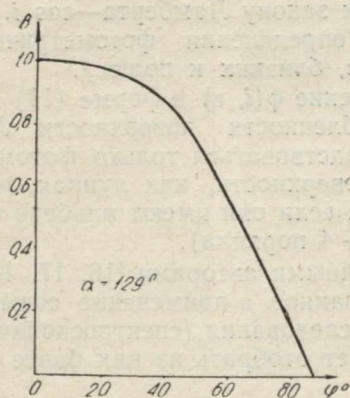


Рис. 12.

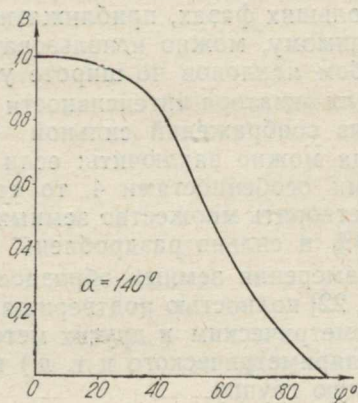


Рис. 13.

Кривые распределения яркости по лимбу представлены на рис. 10, 11, 12 и 13 для  $\alpha = 84^\circ, 105^\circ, 129^\circ, 140^\circ$  соответственно. Здесь по оси абсцисс отложена широта точки лимба  $\varphi$ .

Для фаз  $\alpha < 90^\circ$  зависимость яркости от широты незначительна и проявляется лишь на полюсах.

Для фаз от  $120^\circ$  до  $150^\circ$  распределение яркости по диску близко к закону Ламберта, т. е. пропорционально  $\cos i$ , где  $i$  — угол падения света.

## ВЫВОДЫ

Формула

$$B_\alpha = B_0 \varphi(\lambda, \alpha) \overline{f(\alpha)} \left[ 1 + k(\alpha) \cdot \left( \frac{B_0}{B_{0\text{cp}}} - 1 \right) \right]$$

удовлетворяет с точностью  $\pm 5\%$  для большого числа точек до фаз  $\alpha < 160^\circ$  в пределах широты  $\pm 40^\circ$ , а до фаз  $\alpha < 90^\circ$  — почти по всему диску.

В этой формуле  $B(\alpha)$  — яркость точки при данной фазе,  $B_0$  — яркость точки в полнолуние,  $B_{0\text{cp}}$  — средняя яркость Луны в полнолуние. Ошибка в 20% при определении  $B_{0\text{cp}}$  для  $\alpha = 90^\circ$ , когда  $k(\alpha)$  максимальна, дает ошибку в определении  $B(\alpha)$  не более 4%.  $f(\alpha)$  — фазовая функция, представленная во второй графе табл. 2. Физический смысл ее (ход яркости подсолнечной точки при  $B_0 \rightarrow 1$ ,  $\varphi(\lambda, \alpha)$  — распределение яркости по диску в зависимости от координат точки описывается формулой (11).  $k(\alpha)$  дается в пятой графе табл. 2 и, по-видимому, свидетельствует о наличии рассеяния второго порядка на поверхности Луны.

Хотя альbedo Луны и мало, однако, индикатриса рассеяния ее поверхности сильно вытянута в сторону источника света, поэтому с увеличением фазы мы видим все меньшее число частиц, освещенных прямыми лучами, и все большее число частиц, освещенных рассеянным светом. Количество рассеянного света, падающего на затененные участки, увеличивается. Однако при очень больших фазах, по-видимому, из-за экранировки неровностями не микро-, а макрорельефа, контрасты между материками, имеющими более богатую макроструктуру, и морями уменьшаются, что приводит к убыванию  $k(\alpha)$ .

Имеется достаточно сильная зависимость яркости от широты точек при больших фазах, приближающаяся к закону Ламберта— $\cos i$ , что, по-видимому, можно использовать при определении фотометрическим способом наклонов по широте участков, близких к полюсу.

Для экватора интенсивности выражение  $\varphi(i, \epsilon)$  в форме (11) получено из соображений сильной раздробленности поверхности Луны. Отсюда можно заключить: если руководствоваться только фотометрическими особенностями 4, то такой поверхности, как лунная, может удовлетворять множество земных пород, если они имеют альbedo меньше 20% и сильно раздроблены (до 3÷4 порядка).

Измерения земных образцов различными авторами [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] полностью подтверждают сказанное, а применение совместно с фотометрическим и других методов исследования (спектроскопического, поляриметрического и т. д.) позволяет отобрать из них более ограниченную группу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Барабашов, В. И. Езерский. Тр. Харьковск. астроном. obs., т. 14, Изд-во ХГУ, 1962.
2. Н. П. Барабашов. А. N., 217, № 5, 207, 1922.
3. А. В. Марков. А. N., 221, 65, 1924.
4. Н. П. Барабашов, А. В. Марков. А. N., 226, 129, 1925.
5. E. Orik. «Publ. de L'obs. astron. de L'univ. de Tartu», t. 24, № 1, 1929.
6. В. Г. Фесенков, Н. М. Штауде, П. П. Паренаго. Тр. главной астрофиз. obs., 4, № 1, 1928.
7. В. Г. Фесенков. «Астроном. журн.», № 3—4, 1929.
8. В. Г. Фесенков. «Астроном. журн.» № 3, 1960.
9. E. Schoenberg. «Acta Soc. Scic. Fencal», 50, № 9, 1925.
10. Н. П. Сытинская, В. В. Шаронов. «Уч. зап. ЛГУ», Изд-во ЛГУ, № 153, 1952.
11. Н. П. Барабашов, А. Т. Чекирда, «Публ. Харьковск. астроном. obs.», № 8, 1948.
12. В. А. Федоренко. Тр. Харьковск. астроном. obs., № 2, Изд-во ХГУ, 1952.
13. Diggelen Van. «J. Rech. Astr. l'obs. d'utrecht», XIV, 2, 1960.
14. H. Russel. «Astrophys. Journ», 43, 1916.
15. Rouger. «Annal. Obs. Strasbourg», т. II, f. 3, 1933, т. III, f. 5, 1937.
16. Н. П. Барабашов, А. Т. Чекирда. «Бюлл. Харьковск. астроном. obs.», № 5, 1944.
17. Н. П. Барабашов, А. Т. Чекирда. «Астроном. журн.», 22, № 1, 1945.
18. А. Т. Чекирда. «Бюлл. Харьковск. астроном. obs.», № 1, 1946.
19. Н. С. Орлова. «Уч. зап. ЛГУ», № 273, Изд-во ЛГУ, 1952.
20. Н. С. Орлова. «Изв. план. комиссии», вып. 2, 1960.
21. Н. С. Орлова. «Астроном. журн.», № 1, 1956.
22. Н. П. Барабашов, В. И. Гаража. «Цирк. Харьковск. астроном. obs.», № 21, Изд-во ХГУ, 1960.
23. Н. П. Барабашов, В. И. Езерский, В. А. Езерская, Т. И. Ишутина. «Изв. план. комиссии», вып. 2, 1960.
24. M. Minnaert. «Astrophys. Journ», 93, N3, 1941.
25. А. М. Бонч-Бруевич. Применение электронных ламп в экспериментальной физике, ГИТЛЛ, 1956.
26. К. Э. Эрглис, И. П. Степаненко. Электронные усилители, Физматгиз, 1961.

27. С. М. Герасимов, И. Н. Мигулин, В. Н. Яковлев. Расчет полупроводниковых усилителей и генераторов, ГИТЛ УССР, Киев, 1961.
28. Л. В. Ксанфомалити. Тр. Харьковск. астроном. obs., т. 14, 1962.
29. В. Н. Дудинов, О. И. Бугаенко. Тр. Харьковск. астроном. obs., т. 14, 1962.
30. К. У. Аллен. Астрофизические величины, ИЛ, 1962.
31. Н. П. Барабашов, А. А. Акимов. «Цирк. Харьковск. астроном. obs.», № 26, Изд-во ХГУ, 1963.
32. А. А. Акимов. «Цирк. Харьковск. астроном. obs.», № 26, Изд-во ХГУ, 1963.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УЛЬТРАФИОЛЕТЕ

В. С. Опрятова

Изучение спектров различных лунных образований, особенно в ультрафиолетовой и инфракрасной его частях, представляет значительный интерес. Однако, до настоящего времени надежных данных

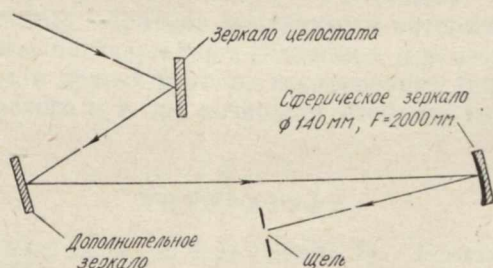


Рис. 1. Оптическая схема установки.

в этой области еще очень мало. Необходимо накопить большой материал, чтобы иметь возможность сделать достаточно обоснованные выводы о характерных особенностях этих областей спектра.

В течение 1962 г. на горизонтальной целостатной установке Харьковской астрономической обсерватории с кварцевым спектрографом ИСП-28 был получен ряд спектрограмм Луны. Диаметр изображения Луны на щели — 20 мм, ширина щели — 0,07—0,08 мм, дисперсия спектрографа —  $25 \text{ \AA}/\text{мм}$  у  $\lambda = 3600 \text{ \AA}$ . Принципиальная схема установки приведена на рис. 1.

Для калибровки спектрограмм фотографировался спектр Солнца через девятиступенчатый ослабитель. При этом нужно было ослабить спектр Солнца настолько, чтобы он фотографировался с той же экспозицией, что и спектр Луны. Для этого в приведенную на рис. 1 схему вводилось еще одно плоское зеркало и баритовый экран. Оптическая схема установки видоизменялась так, как показано на рис. 2. В этом случае появлялась необходимость учесть селективность баритового экрана и зеркала. Это было сделано на зеркальном монохроматоре. Измерения показали, что отражательная способность зеркала и экрана заметно уменьшается к ультрафиолетовой части спектра. Это учтено при обработке. Исследовался на селективность и ступенчатый ослабитель. Оказалось, что он в достаточной степени нейтрален.

В данной работе ставилась задача получить кривую отражательной способности деталей лунной поверхности по возможности дальше в ультрафиолете, вплоть до коротковолновой границы пропускания

земной атмосферы. Получено распределение отражательной способности на спектральном участке от 3200 Å до 4200 Å для семи деталей (рис. 3). Детали пронумерованы следующим образом:

1. Море Облаков.
2. Материковая область между Тихо и Морем Облаков.
3. Тихо.
4. Залив Радуги.

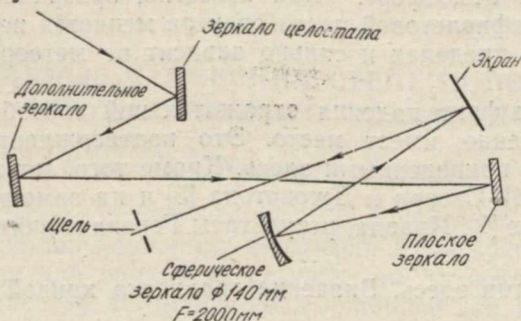


Рис. 2. Видоизмененная оптическая схема для привязки к Солнцу.

5. Бонплан.
6. Материковая область между Заливом Радуги и Морем Холода.
7. Платон.

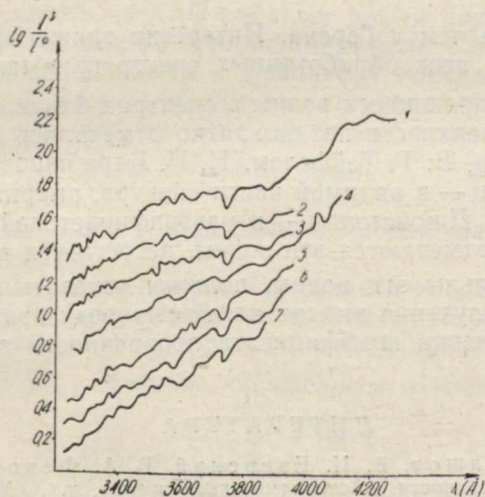


Рис. 3. Зависимость отражательной способности деталей лунной поверхности от длины волны. 1—Море Облаков; 2—Материковая область между Тихо и Морем Облаков; 3—Тихо; 4—Залив Радуги; 5—Бонплан; 6—Материковая область между Заливом Радуги и Морем Холода; 7—Платон.

В качестве фотоматериалов использовались пластинки Kodak типа 103a-F. Экспозиции были 30—40 минут. Характеристические кривые были построены для каждой длины волны, в которой производились измерения, в среднем через 10—20 Å. Кривые 1—7 на рис. 3 приведены несглаженными.

Полученные градиенты в интервале длин волн  $3200 \text{ \AA} - 3950 \text{ \AA}$  колеблются от 0,6 до 0,8  $\left( \text{в } \lg \frac{I^D}{I^{\odot}} \right)$ . Возможно, что это различие в отражательной способности различных деталей не реально. Может быть, оно обусловлено недостаточным уверенным введением поправки на поглощение в земной атмосфере. Как известно, прозрачность атмосферы в далекой ультрафиолетовой части спектра меняется нерегулярно в довольно больших пределах и сильно зависит от метеорологических условий.

Однако сам факт падения отражательной способности в ультрафиолете, несомненно, имеет место. Это подтверждается и прежними измерениями, не приведенными здесь. Кроме того, можно сослаться на работы Герена [4], Стеара и Джонстона [5] и на заметку в Астрономическом циркуляре [2]. Правда, результаты Герена значительно расходятся с приведенными здесь. Значение градиента кривой  $\lg \frac{I^D}{I^{\odot}}$ , по его наблюдениям, равно 0,1 на том же участке спектра, как и в данной работе.

Наши данные ближе к данным Стеара и Джонстона, которые получили  $\lg \frac{I^D}{I^{\odot}} = 0,5$ . По-видимому, более реальным является значение градиента, большее чем у Герена. Интересно также отметить наличие повторяющейся на всех обработанных спектрограммах волны вблизи  $3740 \text{ \AA}$ . Такие повторяющиеся волны в спектрах близко расположенных деталей лунной поверхности неоднократно отмечались многими наблюдателями, например, В. Г. Тейфелем, Н. П. Барабашовым, В. И. Езерским, В. А. Федорец — в видимой части спектра, американскими астрономами Стеаром и Джонстоном — в ультрафиолетовой. Однако длина волны, на которой отмечаются эти волны, не остается постоянной.

Насколько реальны эти волны, должны показать дальнейшие наблюдения. Для получения вполне надежных результатов необходимы регулярные определения коэффициента прозрачности атмосферы в периоды наблюдений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Барабашов, В. И. Езерский, В. А. Федорец. О цветовых контрастах лунной поверхности. «Астрономический журн.», т. XXXVI, вып. 3, 1959.
2. В. И. Езерский, В. С. Опрятова. Ультрафиолетовая спектрофотометрия поверхности Луны. «Астрономический циркуляр», авг. 21, № 224, 1961.
3. В. Г. Тейфель. Спектрофотометрия поверхности Луны. Тр. сектора астроботаники АН Каз. ССР, т. 7, 1959.
4. P. Guerin. Courbe conigée de reflectivité d'une region claire de Mars an centre du disque a l'opposition, „Ann. d'Astroph”, 1962, 25, N 6.
5. R. Stair, R. Johnston. Ultraviolet spectral radiant energy reflected from the Moon. „Journal of Research of the Nat. Bur. of Standart”, 51, N 2, August, 1953.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОПОЛЯРИМЕТРА

*В. Н. Дудинов, К. Н. Деркач*

В последнее время возрос интерес к измерению поляризации Луны [1, 2]. Поскольку поляризационные измерения Луны требуют чрезвычайно много времени для обработки результатов, то основным направлением стала разработка автоматических приборов для измерения поляризации.

Так, в 1961 г. был разработан первый автоматический электронный поляриметр в Абастумани Л. В. Ксанфомалити [2]. Вслед за этим сотрудники астрономической обсерватории В. Н. Дудинов и О. И. Бугаенко под руководством акад. Н. П. Барабашова разработали более простой прибор на ХАО [3].

В настоящее время на ХАО работает новый прибор, несколько отличающийся от предыдущего принципом работы. Световой поток через диафрагму, которая находится в фокальной плоскости телескопа, попадает на вращающийся поляроид, за которым стоит фотоумножитель.

Напряжение на нагрузке ФЭУ, очевидно, можно записать как

$$u = u_0 + u_1 \sin \omega t,$$

где

$\omega$  — удвоенная частота вращения поляроида, равная в нашем случае 75 герцам;

$u_0$  — величина, пропорциональная средней яркости детали;

$u_1$  — амплитуда переменной составляющей, которая будет зависеть только от поляризации при постоянной яркости.

Поляризация  $p\%$ , очевидно, определится соотношением

$$p\% = \frac{u_1}{u_0} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Наличие глубокой отрицательной обратной связи, аналогичной [2] и [3], позволяет величину  $u_0$  оставить постоянной при изменении яркости. Таким образом, измерение поляризации сводится к измерению амплитуды переменной составляющей фототока. Данный прибор нами разрабатывался из соображений упрощения механической конструкции оптической части. Блок-схема прибора приведена на рис. 1.

Поскольку усиление производится по постоянному току, то посчитаем ошибку, возникающую за счет плавления нуля. Пусть  $u_0$  получает приращение  $\Delta u$ , тогда в силу наличия обратной связи коэффициент усиления ФЭУ изменится в  $1 - \frac{\Delta u}{u_0}$  раз. Следовательно, поляризация

$$P_{\text{изм}} = P_{\text{ист}} \left( 1 - \frac{\Delta u}{u_0} \right), \quad (2)$$

$$\Delta P = P_{\text{изм}} - P_{\text{ист}} = -P_{\text{ист}} \frac{\Delta u}{u_0}, \quad (2')$$

т. е. относительная погрешность в измерении поляризации не зависит от величины поляризации и малые поляризации мы можем мерять с той же относительной точностью, что и большие.

Усилитель постоянного тока (рис. 2) был разработан специально. Основные характеристики усилителя таковы:

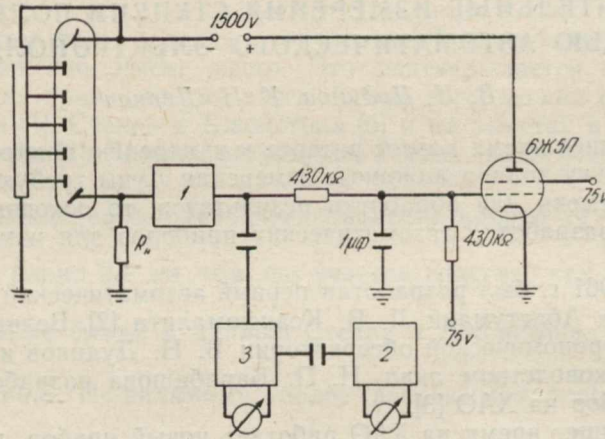


Рис. 1. Блок-схема автоматического электронного поляриметра.

1. Коэффициент усиления  $k_0$  без отрицательной обратной связи равен 2500. Применение отрицательной обратной связи уменьшает коэффициент усиления до 25 согласно формуле

$$k^* = \frac{k_0}{1 + \beta k_0}, \quad (3)$$

где

$\beta$  — величина обратной связи, равная отношению  $\frac{R_1}{R_2}$  и равна 0,04  $\beta k = 100$ .

С точностью до 1% можно пренебречь единицей в знаменателе (3) и тогда

$$k^* \approx \frac{1}{\beta} = 25,$$

т. е. зависит только от стабильности отношения сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ .

Данный усилитель имеет плавание нуля, приведенное ко входу, меньшее 1 mV в течение всего времени наблюдения. Применение питания  $\pm 300$  v, кроме своеобразной добавочной стабилизации, обеспечивает достаточную линейность в диапазоне не менее  $\pm 100$  v на выходе. Напряжение сигнала сравнивается с опорным напряжением +75 v. Таким образом, плавание нуля усилителя (1 mV  $\times$  25 по сравнению с 75 v) можно полностью пренебречь.

Затруднительным может оказаться вопрос о наличии темного тока ФЭУ, который будет, очевидно, меняться в зависимости от напряжения на ФЭУ, т. е. в конечном счете, от яркости детали.

Для расчетов приведем данные нашего фотоумножителя ФЭУ-19.

Чувствительность фотокатода, 50 а/лм		
U питания v	Темновой ток, а	Чувстви- тельность, а/лм
900	$5 \cdot 10^{-9}$	50
760	$1 \cdot 10^{-9}$	10
790	$2 \cdot 10^{-10}$	7

Яркость Луны в полнолуние 0,33 люкса на границе земной атмосферы. Вырезаемый участок  $10'' \times 10''$ , средняя яркость вблизи квадра-

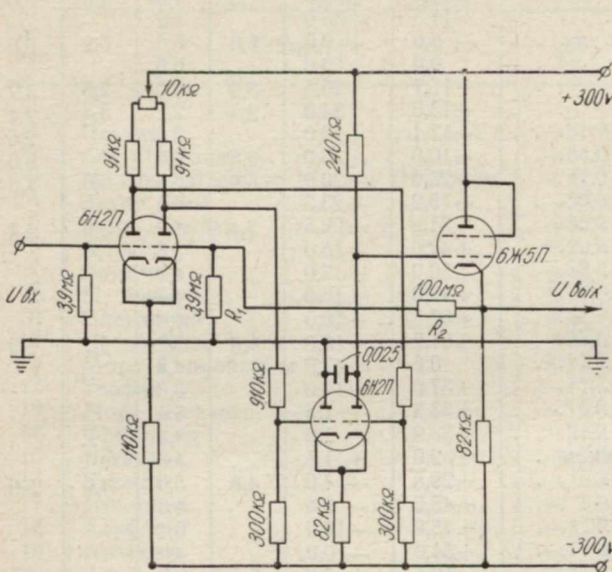


Рис. 2. Схема усилителя постоянного тока.

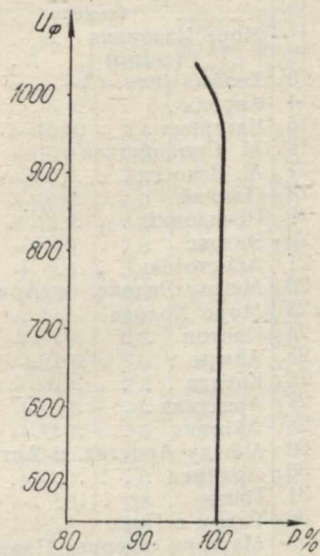


Рис. 3. Калибровочная кривая электрополяриметра.

туры, как нетрудно подсчитать, исходя из [4], составит примерно 0,1 яркости детали в полнолуние. Диаметр объектива 20 см. Средний световой поток, проходящий на ФЭУ (с учетом поглощения в атмосфере, оптике, поляроиде), составит приблизительно  $10^{-8}$  лм. Ток фотокатода

$$i_{\phi} = 10^{-8} \text{ лм} \times 50 \cdot 10^{-6} \text{ а/лм} = 5 \cdot 10^{-13} \text{ а.}$$

Темновой ток при чувствительности 50 а/лм, приведенный к фотокатоду,

$$i_{\tau} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ а} \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-15} \text{ а.}$$

т. е. составляет 1%.

Как следует из формулы (2), изменение темнового тока от напряжения питания вызывает нелинейность прибора, которую, вообще говоря, легко учесть.

На рис. 3 мы приводим калибровочную кривую нашего прибора. Наши измерения практически всегда производились в линейном участке кривой. Посчитаем теперь среднеквадратичную ошибку в измеряемой

Таблица 1

9 октября 1962 г. Угол фазы  $\alpha = -53^\circ$ 

№ п/п	Объект	$\varphi^{(0)}$	$\lambda^{(0)}$	Зеленый	Без фильтра	Желтый	Синий
1	Море Кризисов (центр)	+17,0	+58,0	5,0	6,4	5,0	6,4
2	(север)	+20,0	+58,0		5,2		
3	(юг)	+12,0	+58,0		6,4		
4	Материк возле Моря Кризисов	+19,0	+47,0		3,4		
5	Лангрэн	-8,0	+60,5	2,6	3,4	2,6	3,0
6	Венделин	-17,5	+62,0	2,8	3,2	2,6	3,0
7	Петавий	-25,0	+60,0		2,6		
8	Фракастор	-21,2	+32,3	3,0	3,8	3,0	3,4
9	М. Нектара (центр)	-15,0	+33,0	4,2	4,8	4,0	5,0
10	(север)	-11,5	+33,0		5,2		
11	Море Изобилия	-5,0	+50,0	5,0	6,6	5,2	6,6
12	(север)	0,0	+50,0		6,6		
13	Теофил (цен. г.)	-11,7	+26,5	3,0	3,0	2,8	3,2
14	Кирилл	-13,3	+24,0	2,1	2,2	3,4	2,4
15	Катарина	-17,4	+23,0		3,0		2,6
16	М Спокойствия	+10,0	+35,0	6,8	8,0		8,0
17	М. Ясности	+25,0	+20,0	5,8	6,8	6,0	7,0
18	Плиний	+15,2	+23,5		6,4		
19	Посидоний	+31,9	+29,5	3,4	4,2	3,5	4,4
20	Эвдокс	+44,0	+16,0		3,6		
21	Аристотель	+50,0	+17,0		4,0		
22	Между Эвдокс. и Арист.	+47,0	+16,0		4,0		
23	Море Холода	+57,5	-10,0		4,6		
24	Платон	+51,2	-10,0	4,8	5,2	5,2	5,2
25	Альпы	0,0	47,0		4,8		
26	Кавказ	+37,0	+10,0		3,8		
27	Аристилл	+33,3	+1,5		5,4		
28	Автолик	+30,9	+1,6		4,4		
29	Между Аристилл. и Автоликом	+32,0	+1,5		4,8		
30	Архимед	+29,8	-4,0	4,8	5,6	4,6	5,6
31	Пико	+45,5	-9,5		4,8		
32	Рядом с Пико	+45,0	-10,0		6,4		
33	Материк севернее Платона	+54,0	-10,0		4,4		
34	Море Паров	12,5	+5,0	5,6	6,4		7,4
35	Залив Радуг	+45,0	-32,5	5,4	6,4	4,8	6,4
36	Море Дождей	+31,0	-20,0	5,8	7,4	6,0	7,2
37	Гимохарис	+27,0	-13,0		5,4		
38	Стадий	10,0	-13,5		5,0		
39	Коперник	+9,0	-20,0	2,8	3,4	3,0	4,0
40	Вал Коперника	+10,0	-21,3		3,6		
41	Западнее Коперника	+9,0	-17,5		5,0		
42	Восточнее Коперника	+9,0	-22,5		4,4		
43	Рейнгольд	+3,0	-22,5		4,8		
44	Ландсберг	-0,5	-26,5		4,8		
45	Между Рейнгольдом и Ландсбергом	+1,5	-24,5		5,4		
46	Море Облаков	-20,0	-15,0	4,6	6,6	5,2	6,8
47	Море Влажности	-25,0	-35,0		6,8	5,0	6,6
48	Гассенди (центральная горка)	-17,0	-39,5		2,6	3,0	4,8
49	Гассенди (между ц. г. и валом)	-17,0	-40,5		4,4		
50	Тихо	-43,0	-11,0	2,4	2,4	2,4	2,4
51	Магинус	-50,0	-7,5		2,4		
52	Лонгомонтан	-50,0	-22,0	2,2	3,0	2,2	2,6
53	Клавий	-58,0	-15,0	2,4	2,0	2,4	2,0
54	Ньютон	77,0	-17,5	1,8	2,2	2,0	2,0
55	Меж у Клавием и Ньютоном	-65,0	-15,0		2,0		
56	Арзахель	-17,8	-2,8	3,0	3,2	3,2	3,2
57	Альпетрагий	-15,5	-5,1		3,4		
58	Альфонс	-12,8	-3,3	3,4	3,6	3,6	3,0
59	Птоломей	-8,0	-2,8	3,2	4,0	3,2	3,6
60	Гершель	-5,5	-2,0		3,2		

Продолжение табл. 1

№ п/п	Объект	$\varphi^{(0)}$	$\lambda^{(0)}$	Зеле- ный	Без филь- тра	Жел- тый	Синий
61	Гиппарх . . . . .	- 5,0	+ 5,1		3,4		
62	Альбатегний . . . . .	-11,7	+ 4,5		3,4		
63	Море Паров . . . . .	+12,5	+ 5,0		6,4		
64	Центральный Залив . . . . .	0,0	0,0		4,0		
65	Залив Зноя . . . . .	- 9,0	+12,0		7,0		
66	Клеомед . . . . .	+27,0	+55,0		3,0		
67	Прокл . . . . .	+16,2	+46,4		2,0		
68	Море Дождей . . . . .	+35,0	-15,0	5,8	7,0	6,0	7,2
69	Залив Радуг . . . . .	+45,0	-32,5	5,4		4,8	6,4

Таблица 2

16/17 октября 1962. Угол фазы  $\alpha = +47^\circ$ .

№ п/п	Объект	$\varphi^{(0)}$	$\lambda^{(0)}$	Зеле- ный	Без филь- тра	Без филь- тра
1	Платон . . . . .	+51,2	-10,0	3,4		3,6
2	Сев. Платона . . . . .	+54,0	-10,0	2,8		2,5
3	М. Дождей между Пико и Платоном . . . . .	+47,0	-10,0	3,8		4,8
4	Залив Росы . . . . .	+50,0	-50,0	4,0		4,0
5	Море Дождей . . . . .	+35,0	-15,0	4,8		5,2
6	Архимед . . . . .	+29,8	- 4,0	3,6	4,6	4,0
7	Аристилл . . . . .	+33,3	+ 2,0	3,2		
8	М. Ясности . . . . .	+25,0	+20,0	4,4		4,8
9	Посидоний . . . . .	+31,9	+29,5	2,8		2,8
10	Озеро Снов . . . . .	+35,0	+33,0	3,2		3,6
11	Море Спокойствия . . . . .	+17,0	-19,0	5,0	5,2	5,2
12	Теофил . . . . .	-11,7	+26,8	2,8	2,4	2,4
13	Море Нектара . . . . .	-15,0	+35,0	3,0	3,6	3,6
14	Фракастор . . . . .	-21,2	+32,3	2,6	3,0	
15	Катарина . . . . .	-17,4	+23,0	1,8		
16	Кирилл . . . . .	-13,3	+24,0	2,0	2,0	2,0
17	Птоломей . . . . .	- 8,0	- 2,8	2,8	2,6	
18	Альфонс . . . . .	-12,8	- 3,3	2,8	2,8	2,6
19	Арзахель . . . . .	-17,8	- 2,8	2,4		
20	Альбатегний . . . . .	-11,7	+ 4,5	2,6		2,4
21	Гиппарх . . . . .	- 5,0	+ 5,1	2,4		2,4
22	Море Паров . . . . .	+12,5	- 7,0	4,6		5,2
23	Коперник . . . . .	+ 9,0	-20,0	2,8	3,0	2,8
24	Море Облаков . . . . .	-20,0	-10,0	4,4	4,4	4,8
25	Море Влажности . . . . .	-25,0	-35,0	4,4	4,6	5,2
26	Гримальди . . . . .	- 5,2	-67,0	3,2		3,7
27	Океан Бурь . . . . .	+ 6,5	-69,5	5,0	5,4	5,6
28	Материк рядом с Гримальди . . . . .	- 5,0	-62,0	2,2		3,2
29	Аристотель . . . . .	+50,0	+17,0	2,8		2,8
30	Море между Аристотелем и Эвдоксом . . . . .	+47,0	+16,0	2,6		
31	Море Холода . . . . .	+57,5	-10,0	2,8		3,4
32	Между Альфонсом и Альбатегнием . . . . .	-12,5	0,00	2,4		2,7
33	Тихо . . . . .	-43,0	-11,0	2,0		2,0
34	Аристарх . . . . .	+23,0	-47,0		3,4	3,2
35	Кеплер . . . . .	+ 7,0	-37,8			3,2
36	Восточный лимб . . . . .	+ 5,0	-75,0			2,4
37	Материк вблизи лимба . . . . .					2,9
38	Океан Бурь между Коперником и Кеплером . . . . .					4,5
39	Залив Зноя . . . . .	+10,0	-10,0			5,2
40	Манилий . . . . .	+14,5	- 9,0			3,2
41	Менелай . . . . .	+16,0	-16,0			3,1
42	Материк возле моря Спокойствия . . . . .	-20,5	-32,5			4,0
43	Автолик . . . . .	+30,9	+ 1,6			3,4
44	Пико . . . . .	+45,5	- 9,5			3,5

величине, обусловленную фототоком (флуктуациями темнового тока можно пренебречь).

$$\delta i = \frac{\sqrt{i_{ш}^2}}{i} = \frac{\sqrt{2ei\Delta f \cdot B}}{i} \quad (4)$$

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  кулон — заряд электрона;

$i \approx i_{\phi} = 5 \cdot 10^{-13} a$ ;

$\Delta f$  — полоса пропускания, в нашем случае равна 1 гц;

$B$  — характеристика диодной системы = 2,5.

Подставив данные значения в формулу (4), получим  $\delta i \approx 0,001 = 0,1\%$ , т. е. среднеквадратичное отклонение фототока порядка 0,1%. Учитывая то, что измеряемая величина составляет 10% ( $P \approx 10\%$ ) от всего светового потока, получим  $\delta P$  порядка 1% от измеряемой величины.

Следует отметить, что в случае измерения поляризации лунной поверхности  $\delta P$  остается того же порядка и при измерении поляризации в 1% ÷ 2% при малых фазах, поскольку в этом случае в значительной мере возрастает яркость деталей. Плоскость поляризации измерялась методом [3]. С помощью описанного прибора в настоящее время на ХАО производятся поляризационные наблюдения Луны.

В табл. 1 и 2 мы приводим результаты измерения поляризации деталей лунной поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. К. Кохан. Исследование в трех участках спектра степени и угла положения плоскости поляризации света, отраженного лунными деталями. «Изв. комиссии по физике планет», вып. 1, 1959.
2. Л. В. Ксанфомалити. «Автоматический электронный поляриметр 1 ЭП23». Тр. ХАО, т. XIV, 1962.
3. В. Н. Дудинов, О. И. Бугаенко. Автоматический электрсполяриметр. Тр. ХАО, т. XIV, 1962.
4. В. А. Федорев. Фотометрия лунной поверхности, Тр. ХАО, 2, (10), 1952.