

К-14038
П 250 174

К-14038

В Е С Т Н И К ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 28

СЕРИЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ

ВЫПУСК 3

ИЗДАТЕЛЬСТВО ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

1967

Цена 56 коп.

V.N. Karazin Kharkiv National University



00288634

9

ВЕСТНИК ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 28

СЕРИЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ

ВЫПУСК 3

к-14038



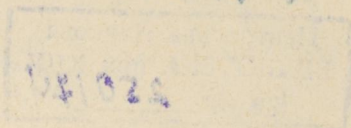
н

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

1967

Редакционная коллегия:

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



ХАРЬКОВСКАЯ ТИПООФСЕТНАЯ ФАБРИКА

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ХАРЬКОВСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ЗА 50 ЛЕТ

До Великой Октябрьской социалистической революции астрономия в России была мало связана с жизнью. С установлением Советской власти астрономия начинает развиваться быстрыми темпами, растут кадры астрономов, расширяется число астрономических обсерваторий в стране, обсерватории получают новые инструменты и приборы.

В годы Советской власти Харьковская астрономическая обсерватория широко развернула свою деятельность, тесно связанную с решением задач социалистического строительства.

Наряду с разработкой научных проблем, начатой обсерваторией еще до Великой Октябрьской социалистической революции, началось всестороннее изучение процессов, происходящих на Солнце и планетах. Обсерватория включилась также в Службу Времени.

Работа обсерватории после Великой Октябрьской социалистической революции проходила в трех направлениях — астрофизики, астрометрии и небесной механики.

Астрофизический сектор считал своей основной задачей исследование процессов на Солнце, их влияние на Землю и изучение физических условий на Луне и планетах.

Для решения этих задач требовались квалифицированные кадры и специальное научное оборудование.

Проводить астрономические работы с тем оборудованием, каким располагала обсерватория до 1917 г., было совершенно невозможно. Только при Советской власти Харьковская астрономическая обсерватория смогла обеспечить подготовку высококвалифицированных специалистов, широко развернуть научно-исследовательские работы, особенно в области астрофизики.

Для исследования процессов на Солнце ленинградский оптик Н. Г. Пономарев и Н. П. Барабашов сконструировали первый в Советском Союзе спектрогелиоскоп-спектрогелиограф. На нем и сейчас производится фотографирование Солнца в лучах водорода и кальция, изучаются солнечные вспышки и их спектры, производится фотометрическое изучение интенсивности различных хромосферных образований. Харьковская астрономическая обсерватория входит во всесоюзную Службу Солнца и принимала участие в работах по программе Международного геофизического года и Международного года спокойного Солнца.

Уже в первые годы Советской власти на обсерватории был установлен 200 мм рефрактор Цейса и реле для секундного контроля часового механизма этого рефрактора, а также 270 мм рефлектор работы Н. П. Барабашова. Обсерватория приобрела микрофотометр Гартмана, саморегистрирующий микрофотометр Коха, объективную призму диаметром 120 мм и преломляющим углом 12° для спектроскопических работ,

Для наблюдения полного солнечного затмения в 1936 г. были изготовлены пятиметровый коронограф и трехпризменный спектрограф, и приоб-

ретен целостат с двумя зеркалами диаметром 27 см, с часовым механизмом и секундным контролем. Это оборудование использовалось при наблюдении солнечных затмений в 1952 и 1954 г.г.

Частично разрушенная фашистскими захватчиками, обсерватория была быстро восстановлена. Она пополнилась рядом новых инструментов высокого качества. Были приобретены спектроэлектрофотометр, микрофотометры МФ-2, МФ-4, менисковый телескоп системы Д. Д. Максудова с полезным отверстием в 200 мм, к нему щелевой спектрограф и электрофотометр, а также заказано приспособление для превращения этого электрофотометра в электрополяриметр системы Мюхкюра.

Для расширения работ в области изучения физических условий на Луне и планетах получен и установлен в 76 км от Харькова большой телескоп с зеркалом диаметром 700 мм, с двумя спектрографами, электрополяристром и планетной камерой.

Благодаря значительному расширению инструментальной базы обсерватории и увеличению ее штата за счет окончивших Харьковский университет астрономов, стало возможным значительно повысить объем, качество и ценность работ, выполняемых Харьковской обсерваторией.

Исследование Солнца. В этой области обсерватория ведет работу по изучению фотосферных и хромосферных образований, а также изучает солнечную корону и ее спектры во время полных солнечных затмений. Визуальные наблюдения фотосферных образований солнечных пятен и факелов ведутся на приспособленном для этой цели четырехдюймовом рефракторе.

Исследование хромосферы и хромосферных образований проводится на спектрогелиоскопе. Диаметр изображения Солнца на щели равен 3,9 см. Щели имеют длину 5 см. Таким образом, с помощью этого прибора можно получить спектрогелиограммы всего Солнца сразу, а не по частям, как в спектрогелиоскопе Хэла.

Благодаря специальному приспособлению, установленному на спектрогелиоскопе, можно быстро наводить на щель различные линии солнечного спектра и, таким образом, быстро переходить при фотографировании хромосферы от линии водорода к линиям кальция и наоборот. Движение обрабатываемой изображением Солнца призмы и кассеты с фотопластинкой осуществляется специальным гидромотором, сконструированным научным сотрудником ХАО Л. И. Кассель. Мотор этот обладает высоким качеством и устраняет полосатость на фотографиях, чего не удалось достигнуть с двигателями других конструкций.

В настоящее время установлено второе вогнутое зеркало и третья щель. Благодаря этому можно одновременно отбрасывать на обе щели различные участки солнечного спектра, например, на первую щель линию H_{α} , а на вторую — K , что позволяет одновременно получить две фотографии Солнца — одну в лучах водорода и другую в лучах кальция. Кроме того, на специальных каменных столбах установлены добавочные зеркала и камеры, которые позволяют быстро, один за другим, получать спектры различных хромосферных образований, в том числе и эрупций. Попутно с этими наблюдениями проводится также и фотографическая фотометрия хромосферных образований. Для этой же цели будет применяться электрический фотометр. Продуктивную работу на спектрогелиоскопе-спектрогелиографе в течении многих лет проводили кандидаты физико-математических наук Л. И. Кривко и В. А. Езерская, а в настоящее время ведут Р. М. Чиркова, Н. П. Дятел, И. Л. Белкина.

Сводки ежедневных наблюдений хромосферных образований посылаются в Комиссию по исследованию Солнца, где их используют вместе с наблюдениями других обсерваторий для составления карт солнечной активности и прогнозов ее изменения.

Изучение физических условий на Луне и планетах. Работа по изучению физических особенностей Луны и планет получила на обсерватории в годы Советской власти столь большое развитие, что поставила Харьковскую астрономическую обсерваторию в число ведущих обсерваторий Советского Союза. Благодаря этому Харьковская астрономическая обсерватория является одним из центров по исследованию луны и планет. В этих работах участвуют сотрудники ХАО Н. П. Барабашов, А. Т. Чекирда, В. И. Езерский, Л. А. Акимов, В. С. Опрятова, О. М. Стародубцева, В. И. Гаража, В. Н. Дудинов.

С 1932 г. на Харьковской астрономической обсерватории было начато систематическое фотографирование Луны, Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна с помощью лунно-солнечной камеры, привинченной к 200 мм рефрактору через светофильтры. После монтировки 270 мм рефлектора на паралактическую установку 200 мм рефрактора (вместо противовеса) с 1956 г. фотографирование стало производиться не только через красный, желтый, зеленый и синий светофильтры, но и через ультрафиолетовый с максимумом пропускания 360 $m\mu$ и через два инфракрасных с максимумами пропускания 750 $m\mu$ и 840 $m\mu$.

В 1956 г. на этом рефлекторе с указанными светофильтрами производилось фотографирование Марса в течение пяти месяцев вблизи его великого противостояния. Полученные таким образом снимки Луны и планет дали возможность накопить большой фактический материал, позволяющий судить об изменениях, совершающихся на поверхности планет и в их атмосфере в течение продолжительного периода времени, а также получить новые данные о физических условиях на планетах. Так, например, были получены цветные характеристики различных объектов поверхности Луны и сравнены с цветными характеристиками некоторых земных горных пород. Установлено, что цветовые контрасты на лунной поверхности достигают 15%. Наиболее близкими к поверхности Луны по цвету и светлоте оказались вулканические горные породы, в частности некоторые туфы, базальты и вулканический пепел. Были получены и цветные фотографии Луны, на которых хорошо заметны цвета лунных образований. Показано, что поверхность лунных морей весьма неровная, пористая и шероховатая. Об этом свидетельствует закон отражения света от лунной поверхности, установленный в результате наблюдений на ХАО. Поляриметрические наблюдения свидетельствуют о том же и показывают, что и по поляризующим свойствам ближе всего к объектам лунной поверхности вулканические породы.

Харьковская астрономическая обсерватория наряду с ГИШ и ГАО АН СССР принимала участие в обработке первых фотографий обратной стороны Луны, переданных советской АМС «Луна-3». На обсерватории под руководством Н. П. Барабашова, В. И. Езерским, В. А. Езерской, О. М. Белобровой, В. И. Лацько и др. проведены фотометрические исследования деталей обратной стороны Луны по фотографиям, переданным АМС «Зонд-3». Н. П. Барабашов является одним из редакторов первого атласа обратной стороны Луны.

Переданные на Землю советскими АМС Луна-9 и Луна-13, совершившими впервые в истории мягкую посадку на лунную поверхность, панорамы, оказались весьма сходными с теми макетами, которые были изготовлены на ХАО на основании оптических исследований лунной поверхности Н. П. Барабашовым и его учениками. Было исследовано также распределение цвета вдоль светлых лучей и выявлено, что красноватая окраска некоторых из них становится все менее интенсивной по мере удаления от связанного с ними кратера.

Исследования Венеры проведенные Н. П. Барабашовым и В. И. Езерским показали, что в состав ее облачного покрова входят крупные частицы, обуславливающие весьма вытянутую индикатрису рассеяния. Количество аэрозолей в атмосфере Венеры колеблется и увеличивается в утренние и вечерние часы по сравнению с полднем. Обнаружено изменение показателя цвета Венеры с углом фазы. Систематическое различие в распределении яркости в южном и северном полушариях Венеры, связанных, по-видимому, с сезонами, позволяет заключить, что положение оси вращения Венеры совпадает с определениями П. Койпера ($\alpha = 53^\circ$, $\delta = 81^\circ$, а наклон экватора Венеры к ее орбите равен 32°).

При всех углах фазы и по всей поверхности Венеры наблюдается зеркалящий эффект в отражении света ее поверхностью, заключающийся в том, что максимальная яркость на диске наблюдается вблизи точек, где $i \approx \varepsilon$, и лучи, падающий и отраженный от видимой поверхности Венеры, лежат по разные стороны от нормали к поверхности в данной точке. Такое явление наблюдалось для области спектра в пределах от 410 и до 640 *мк*. Поляризация также максимальна на экваторе интенсивности планеты при $i = \varepsilon$. Вероятнее всего, часть зеркалящего эффекта вызывают ледяные кристаллики, из которых состоит облачный слой.

В 1964 и 1965 гг. Н. П. Барабашов, О. М. Стародубцева и И. Л. Белкина заметили большие темные пятна на Венере, которые были подвергнуты фотометрическим и спектрофотометрическим измерениям. Эти измерения показали, что наличие таких пятен ослабляет ультрафиолетовую часть спектра Венеры и изменяет распределение яркости на диске. Пятна оказались слегка красноватыми, по-видимому, здесь мы имеем дело с уменьшением толщины верхнего слоя облаков Венеры, через который просвечивает более темный желтоватый слой.

На основании наблюдений, произведенных на ХАО, можно сделать вывод, что Марс представляет собой планету, на поверхности и в атмосфере которой совершаются довольно значительные и хорошо заметные изменения. Установлено, что очертания, размеры и темнота многих «морей», «заливов» и «оазисов» изменяются. Эти изменения, а также видимость многих каналов тесно связаны с изменением в размерах полярной шапки того полушария, где они находятся. Севернее темной области Марса, называемой Большим Сыртом, в периоды сильного уменьшения размеров северной шапки появляется большое пятно, становящееся очень темным. Во время таяния южной шапки оно почти совсем исчезает. Это потемнение является, по-видимому, следствием увлажнения области суши, окруженной каналами.

Все эти изменения связаны с сезонами. Весной и летом многие темные области увеличиваются и темнеют. Осенью и зимой — уменьшаются и светлеют.

С сезонами связано также и количество появляющихся в атмосфере Марса облачных образований, а также изменение прозрачности атмосферы Марса. В периоды наибольшей прозрачности детали его поверхности хорошо различаются даже в синих лучах спектра. В периоды плохой прозрачности они в этих лучах не видны.

Полярные шапки Марса часто кажутся красноватыми по отношению к белому экрану. Только в редких случаях они бывают зеленоватыми. Шапки состоят из двух компонент. Первая представляет собой твердые и, по-видимому, несплошные (пятнистые) осадки на поверхности в виде тонкого слоя, и вторая — туманоподобные и облачные образования, плавающие над ними и вокруг них. На Марсе часто наблюдаются утренние и вечерние туманы небольшой плотности. Иногда, довольно редко, и особенно у берегов «морей» наблюдается выпадение твердых осадков.

Поверхность суши Марса очень ровная, довольно близко следующая закону отражения Ламберта. Она похожа на наши пустыни, покрытые лёссовой пылью. Возможно, что они покрыты мелким порошком лимонита или окислов железа.

В атмосфере Марса наблюдаются пыльные облака, плавающие в ней иногда по несколько дней. Отражательная способность суши Марса (альbedo) довольно разнообразна. Она заключается в пределах от 0,448 до 0,200 в красных лучах и от 0,110 до 0,070 — в синих.

Закон отражения света от некоторых «морей» Марса заметно отличается от закона Ламберта. Фактор гладкости для них меньше, чем для суши. Для «морей» он равен 0,60—0,7, в то время как для суши близок к 1,0. Прозрачность атмосферы Марса над «морями» в среднем больше, чем над сушей.

Средняя скорость перемещения облачных образований над поверхностью Марса составляет 20—30 км в час.

Согласно фотометрическим измерениям барометрическое давление на поверхности Марса равно 99 мм по ртутному барометру и около 34 мм по anerоиду. Спектрофотометрические измерения и наблюдения Маринер-4 дают меньшие значения.

Большая часть поверхности «морей» Марса имеет такой же цвет, как и суша, и представляет собой, по-видимому, слегка увлажненные места, высыханием которых хорошо объясняется изменение очертаний и темноты этих образований.

В некоторых местах «морей» Марса наблюдалась мозаичная структура и изменение цвета с изменением полуденной высоты Солнца. Эти области зеленеют и синеют, когда полуденная высота Солнца увеличивается, и приобретают коричневые и серые тона, когда она уменьшается. Такие изменения хорошо объясняет гипотеза растительного покрова, развивающегося в этих местах. Другие объяснения неприемлемы. Иногда наблюдались узкие светлые полосы и яркие точки, существовавшие очень непродолжительное время. Природа этих образований окончательно еще не выяснена. Темный ободок, появляющийся вокруг тающих полярных шапок, несомненно, существует и представляет собой более влажное место того же цвета, что и суша.

С 23 августа по 1 сентября 1956 г. во время великого противостояния Марса на ХАО удалось наблюдать необычные явления на Марсе. В некоторых местах его «морей» и «суши» наблюдались очень яркие беловатые и желтоватые пятна и полосы. Подобные образования после 23 августа были замечены и другими наблюдателями как в Советском Союзе, так и за границей. Это был, по-видимому, очень низкий туман или очень тонкие снегоподобные или инееподобные осадки.

В 1956 г. полярные шапки не были видны в инфракрасных лучах. Они замечались лучше всего в ультрафиолетовых и хуже всего в красных. Возможно, инфракрасные лучи пробивают полярные шапки насквозь. Отсюда следует, что в 1956 г. основная часть южной полярной шапки была атмосферного происхождения и ее высота менялась со временем.

Для Юпитера получены следующие основные результаты. Одинаковость кривых распределения яркости вдоль светлых и темных полос и близкое совпадение их для всех фильтров — красного, желтого, зеленого и синего — говорит о том, что как темные, так и светлые полосы лежат практически на одном и том же уровне над видимой поверхностью Юпитера.

Сравнение распределений яркости в экваториальной зоне Юпитера и Марса (у поверхности Марса барометрическое давление не превышает 40 мм) обнаруживает заметные различия, особенно для коротких

длин волн. Можно заключить, что в случае справедливости для видимой поверхности Юпитера закона Ламберта плотность его атмосферы над облачным слоем должна быть ничтожной даже при большом альбедо видимой поверхности.

Полученное в Харькове распределение яркости на диске Юпитера удовлетворяется и при условии, что оптическая толщина его атмосферы при чистом рассеянии равна бесконечности ($\tau = \infty$, $\lambda = 1$).

Оказывается, что распределение яркости по диску Юпитера испытывает и значительные изменения от года к году, связанные, по-видимому, с одиннадцатилетним периодом солнечной активности. Одновременно с этим меняется и контраст полос и селективность в распределении яркости.

Быстрые и значительные изменения на Юпитере могут быть объяснены тем, что некоторые газы, входящие в состав атмосферы этой планеты, находятся на границе сжижения и испарения. Поэтому даже небольшое изменение напряженности солнечной радиации вызывает их переход из жидкого состояния в газообразное и наоборот. Таким образом, количество газов (атмосферный слой) над облачным покровом может довольно сильно изменяться. Это должно менять распределение яркости на диске, а также цвет полос и пятен, видимых на Юпитере.

Наблюдения Сатурна, произведенные на ХАО, убеждают нас в том, что он во многом сходен с Юпитером. Слой свободной атмосферы над облачным покровом Сатурна выше, чем у Юпитера. Это является следствием более низкой температуры Сатурна, при которой происходит большее вымерзание аммиака и переход его в твердое состояние. Выпадая из атмосферы и входя в состав облачного слоя, аммиак освобождает атмосферу, которая в основном должна состоять из водорода и метана.

Темные полосы Сатурна лежат, по-видимому, немного выше светлых областей его поверхности. Цвет полярных областей зеленовато-желтый. Кривые распределения яркости на диске Сатурна, а также цвет различных деталей его поверхности подвержены небольшим изменениям, которые в общем меньше, чем у Юпитера. Однако на поверхности Сатурна происходят иногда значительные изменения. Так, в 1938 г. в экваториальной области Сатурна появилось огромное белое пятно, разделившееся впоследствии на две части. Мы имели возможность наблюдать это пятно на фотографиях, сделанных в инфракрасных лучах, даже через полтора года после его появления, хотя в визуальных лучах и через синий светофильтр оно перестало быть видимым. Возможно, что это было облако тяжелых углеводородов, медленно погружившееся в облачный слой планеты.

Кольцо Сатурна оказалось простирающимся до самого шара планеты, и часть его, заполняющая просветы между кольцом и шаром, должна состоять из очень мелких частиц, сильно рассеивающих лучи короткой длины волн. Изменения яркости кольца в зависимости от угла фазы и углов возвышения Земли и Солнца над плоскостью кольца свидетельствует о том, что в состав колец входят как мелкие, так и крупные частицы, нейтрально рассеивающие свет. Абсолютная яркость кольца В не превосходит 0,5, что делает излишним предположение некоторых авторов о том, что частицы, составляющие кольца, покрыты веществом, сильно отражающим свет, например, снегом.

Астрометрия. Сектор астрометрии уже в дореволюционный период имел в своем распоряжении первоклассный для того времени меридианный круг Репсольда, хорошие астрономические часы Рифлера, установленные в подвале обсерватории, маятник Гиппа с циферблатом, значительное количество хороших хронометров и ряд других астрометрических приборов.

После Великой Октябрьской социалистической революции работы

Харьковской астрономической обсерватории в области астрометрии значительно расширились. Кроме работ по определению звездных положений на меридианном круге, ХАО совместно с лабораторией времени Института мер и измерительных приборов включилась в работу по службе времени.

За годы Советской власти штат сектора астрометрии расширился за счет молодых астрометристов, значительно улучшилось научное оборудование сектора.

Уже в первые годы Советской власти обсерватория получила пассажный инструмент Бамберга, два пишущих хронографа и один печатающий, два универсальных инструмента, несколько контактных хронометров и ряд других инструментов.

Астрономический сектор под руководством проф. Н. Н. Евдокимова выполнил ряд важных астрономических работ.

В 1924—1927 гг. проф. Н. Н. Евдокимов выполнил первую серию работ по определению склонений больших планет на меридианном круге обсерватории. Вторая серия определения склонений планет была выполнена в 1934—1939 гг. проф. Б. П. Остащенко-Кудрявцевым, который с 1923 г. начал работать в Харьковской обсерватории. (Обе работы опубликованы в Трудах Харьковской обсерватории). Третья серия наблюдений больших планет выполнена проф. Н. Н. Евдокимовым в 1935—1938 годах. Наблюдения этой серии обработаны доц. В. А. Михайловым и кандидатом наук К. Н. Кузьменко и опубликованы в Ученых записках обсерватории в 1954 году.

С 1929—1934 гг. проф. Б. П. Остащенко-Кудрявцев на меридианном круге обсерватории выполнил также часть большой кооперативной работы, принятой международным астрономическим съездом по наблюдению звезд Копфа-Ренца. В 1935—1937 гг. Н. Н. Евдокимов на меридианном круге и В. А. Михайлов на пассажном инструменте определяли склонения звезд по суммам и разностям их зенитных расстояний.

В период временной оккупации Харькова немецкими захватчиками меридианный круг обсерватории был разобран. Однако благодаря энергичной деятельности сотрудников обсерватории этот инструмент был быстро восстановлен, и на нем уже в 1947 г. начались регулярные наблюдения.

В 1946 г. К. Н. Кузьменко была проведена большая работа по исследованию делений меридианного круга, опубликованная в I томе Трудов Харьковской обсерватории.

В послевоенный период астрометрический сектор ХАО вместе с другими обсерваториями Советского Союза принял участие в большой коллективной работе по составлению каталога слабых звезд. Наблюдения по определению склонений и прямых восхождений фундаментального каталога слабых звезд вели В. А. Михайлов, К. Н. Кузьменко и В. Х. Плужников. Каталог прямых восхождений звезд ФКСЗ опубликован в Трудах ХАО, № 13 и использован ГАО АН СССР для составления Предварительного сводного каталога слабых звезд (ПФКСЗ).

В 1957 г. на меридианном круге начаты перенаблюдения α и δ близполюсных звезд ($79^\circ < \delta < 90^\circ$), которые наблюдали Л. О. Струве, Н. Н. Евдокимов и Б. И. Кудревич с 1906—1915 гг. на этом же инструменте. Цель работы — определить положения и собственные движения этих звезд. Кроме того, в этот же период велись наблюдения прямых восхождений больших планет.

На пассажном инструменте непрерывно продолжается работа по службе времени, которая осуществляется научным сотрудником обсерватории А. Д. Егоровым и научным сотрудником Института мер и измерительных приборов В. И. Туренко.

В 1955 г. обсерваторией получен новый пассажный инструмент с объективом диаметром 100 мм. Г. Р. Посошков изготовил к этому инструменту макет прибора для фотоэлектрической регистрации звездных прохождений. В рабочее состояние этот прибор привел А. Д. Егоров. Большую работу выполнил также старший научный сотрудник обсерватории Л. И. Касель по изготовлению прибора для автоматического фотографирования отсчетов меридианного круга.

Небесная механика. Проф. А. И. Раздольский занимался исследованием движения малых планет Юпитеровой группы, рассматривая их положение относительно центров либрации, а также изучал движения таких планет, как (787) Москва и (55) Пандора.

Большой интерес вызвали работы научного сотрудника обсерватории К. Н. Савченко, опубликованные в 1935 — 1938 гг. и посвященные ограниченной задаче трех тел с переменной массой, исследованию задачи двух тел, отношение масс которых изменяется во времени, и теории потенциала переменных масс.

Доц. Г. М. Баженов в своей работе «О некоторых применениях матриц в небесной механике» указал на применения матриц, связанные с преобразованием различных дифференциальных уравнений небесной механики и использованием их в тех случаях, когда встречаются линейные преобразования. Эти применения показывают как можно сложные вычисления свести к более простым, в основном к умножению матриц, что значительно упрощает вычисления. Не менее важное значение имеет использование матриц в исследованиях в области небесной механики при рассмотрении теоретических вопросов.

В «Обзоре отечественных работ по теории определения орбит планет и комет» Г. М. Баженов показал приоритет русской науки в ряде вопросов, связанных с теорией определения орбит планет и комет, а также дал анализ трудов советских ученых, вклад которых в мировую науку в этой области за 33 года представлен 70 работами из 171, написанной за 207 лет. Работы, связанные с уточнением орбит малых планет на ХАО, проводил А. И. Сластенов.

В настоящее время астрономическая обсерватория Харьковского государственного университета выполняет важные работы по заданию Планетной и Междупланетной комиссий Астросовета АН СССР. Эти работы в значительной степени должны помочь развитию межпланетных сообщений.

Таким образом, благодаря постоянной заботе Коммунистической партии и советского правительства астрономическая обсерватория Харьковского государственного университета за 50 лет Советской власти превратилась из маленькой и плохо оборудованной обсерватории в большой астрономический научно-исследовательский институт, где работают высококвалифицированные сотрудники и имеются новейшие инструменты.

С 1947 по 1967 г. Харьковский университет по специальности астрономия окончили 128 человек. Многие из этих специалистов направлены на работу в астрономические учреждения Советского Союза, обсерватории Харькова, Киева, Ташкента, Полтавы, Алма-Аты, некоторые оставлены для прохождения аспирантуры, некоторые направлены на работу в научно-исследовательские институты и на педагогическую работу в школы и вузы.

В периодических изданиях обсерватории за 50 лет Советской власти научными сотрудниками обсерватории и членами кафедры астрономии ХГУ опубликовано свыше 500 научных работ.

В 1960 г. Астрономической обсерваторией был получен новый телескоп АТЗ-8 с зеркалом диаметром 700 мм, со спектрографом для фотографирования спектров планет, лунно-планетной камерой и электрофо-

тометром. Телескоп АЗТ-8 предназначен для изучения планет, светосила его с Ньютоновым фокусом около $\frac{1}{3}$, самый длинный фокус около 30 м, что дает возможность получить более совершенные фотографии Луны и планет. К 1 ноября 1966 г. установка и монтаж инструмента были закончены и с его помощью начали вести регулярные наблюдения и исследования его оптических и механических частей.

Исследование телескопа АЗТ-8, проведенное В. Н. Дудиновым, В. С. Опрятовой и В. И. Гаражай, показало высокое качество оптики телескопа, которая дала возможность получить отличные фотографии Луны и планет.

Станция по наблюдению ИСЗ была открыта на обсерватории в 1957 году. Начальник станции — доцент В. Х. Плужников, заместитель начальника доцент К. Н. Кузьменко. Станция ведет регулярные визуальные и фотографические наблюдения по определению положений ИСЗ. В этой работе принимают большое участие студенты астрономического отделения университета.

ЕЩЕ О ЗАКОНЕ ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА ОТ ТВЕРДОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

Н. П. Барабашов, Ю. В. Александров, В. И. Гаража

В настоящее время существует три основных и весьма различных точки зрения на закон отражения света от твердой поверхности Марса.

Н. П. Барабашов, Н. Н. Сытинская, В. Г. Фесенков, В. В. Шаронов считают, что этот закон лишь немногим отличается от закона Ламберта. По их мнению, в красных лучах оптическая толщина атмосферы мала ($\tau \leq 0,05$), и поэтому в этих лучах фотометрические измерения на диске Марса дают распределение яркости на самой его поверхности, почти не искаженное влиянием атмосферы планеты.

В связи с этим распределение яркости на диске Марса при $\alpha \approx 0$ до $0,85$ радиуса от центра можно выразить зависимостью $\rho = Ae^{-2\tau \sec i \cos i} + B(\alpha, \tau)$, предложенной Н. Н. Сытинской, если q — фактор гладкости, заключающийся в пределах $0,7—1$. Кроме того, распределение яркости на диске Марса при углах фазы в пределах от $\alpha = 0^\circ$ и до $\alpha = 40^\circ$ почти не зависит от угла отражения и разности азимутов между падающим и отраженным лучами. В таком именно смысле мы говорили и будем говорить о близости закона отражения света от твердой поверхности Марса к закону Ламберта.

Следует отметить, что согласно наблюдениям Н. П. Барабашова распределение яркости изменяется в зависимости от замутненности марсианской атмосферы пылью, поднимаемой ветрами с его поверхности. Так, в 1956 г. при прозрачной атмосфере отношения яркостных факторов при $i = 0^\circ$ и $i = 60^\circ$ было $\frac{B_0}{B_{60}} = 2$, а при замутненной $\frac{B_0}{B_{60}} = 1,53$ [1].

И. К. Коваль высказал мнение, что 1) для истинной поверхности марсианских пустынь фактор гладкости $q = 0,63$, а для морей, учитывая [2], близок к нулю [3], что 2) атмосфера Марса обладает заметным истинным поглощением и 3) для определения оптических параметров атмосферы и поверхности Марса неприменимы формулы, предполагающие ламбертовское распределение яркости на истинной поверхности планеты. Автор думает, что полученное многими наблюдателями распределение яркости по диску Марса, близкое к ламбертовскому, явилось результатом искажения истинного распределения, соответствующего $q \leq 0,5$, атмосферной турбуленцией.

Е. Эпик [4] считает, что поверхность Марса отражает свет во время противостояния не по закону, близкому к ламбертовскому, а так же, как и Луна, при $\alpha = 0$, т. е. все точки диска Марса (без атмосферы) имеют одинаковую яркость. Следовательно, поверхность Марса не покрыта мелкой пылью, как полагают многие, а имеет тот же микрорельеф, что и поверхность Луны ($q = 0$).

Рассмотрим, какие из этих трех мнений ближе всего к действительности, учитывая все имеющиеся в нашем распоряжении фотометрические и спектрофотометрические данные о Марсе.

В табл. 1 представлена фазовая кривая Марса для $\lambda = 636 \text{ м}\mu$, по Н. Ибрагимову [5], полученная на основании спектрофотометрических наблюдений интегрального блеска планеты. Значение для $\alpha = 50^\circ$ получено с помощью незначительной экстраполяции. В этой же таблице приведены фазовые кривые для Луны [8] и законов Ламберта, Ломмеля—Зеелигера и Эйлера. При этом $m(1,0)$ взято такое же, как у Марса.

Таблица 1

α	Марс	Луна	Закон Ламберта	Закон Ломмеля—Зеелигера	Закон Эйлера
0°	$-2^m,14$	$-2^m,14$	$-2^m,14$	$-2^m,14$	$-2^m,14$
20	$-1,92$	$-1,51$	$-2,08$	$-2,06$	$-2,10$
40	$-1,70$	$-0,91$	$-1,90$	$-1,88$	$-2,02$
50	$-1,59$	$-0,56$	$-1,76$	$-1,75$	$-1,94$

Из данных таблицы видно, что фазовая функция Луны, даже для $0 < \alpha < 50^\circ$, резко отличается от фазовой функции Марса. Так, для $\alpha = 50^\circ$ разница достигает $-1^m,03$. Принимая во внимание и совершенно различные распределения яркостей по дискам Луны и Марса при $\alpha = 0^\circ$, можно с уверенностью сказать, что закон отражения света от поверхности Марса иной, чем для Луны. Об этом же свидетельствуют и соображения Н. П. Барабашова, приведенные в его работах [6,7].

Из этой же таблицы следует, что закон Эйлера не пригоден для Марса. Здесь разница в блеске при $\alpha = 50^\circ$ достигает $0^m,35$, т. е. весьма заметной величины, при $\alpha = 0^\circ$ для закона Эйлера несходство с распределением яркости по диску Марса такое же, как и для Луны. Что же касается законов Ламберта и Ломмеля—Зеелигера, то их фазовые кривые в интервале фаз $0-50^\circ$ не обнаруживают столь существенных количественных расхождений с фазовой кривой Марса, однако намечается некоторое качественное отличие. Теоретические фазовые кривые являются выпуклыми с горизонтальной касательной в точке $\alpha = 0^\circ$, а фазовая кривая Марса хорошо представляется прямой линией с фазовым коэффициентом $\gamma = 0,011$ (при $\lambda \geq 600 \text{ м}\mu$). Наблюдаемое распределение яркости по диску Марса так же сильно отличается от закона Ломмеля—Зеелигера, как и от лунного.

В табл. 2 приведены значения фазового интеграла Q по Ибрагимову [5], Q' по Д. Гаррису [16], отношение при наибольшей прозрачности атмосферы Марса, по Н. П. Барабашову, для материков [18], для морей [12] и соответствующие им значения фактора гладкости q . Недостатком этой таблицы является то, что сопоставляются результаты наблюдений, проведенных во время различных противостояний Марса.

Из данных табл. 2 видно, что q убывает вместе с Q , но поскольку интервал углов фаз для Марса невелик (неуверенно определяется Q), дальнейшие заключения преждевременны. Для того чтобы на основании изучения фазовой функции Марса с достаточной точностью решать вопрос о законе отражения света от поверхности, необходимо исследовать блеск Марса во всем интервале фаз (от 0 до 180°), используя для этого космические автоматические станции. Особенно важно, и в то же время относительно просто, получить фазовую кривую при $0 \leq \alpha < 10^\circ$.

На основании вышеизложенного мы не принимаем во внимание законы Эйлера, Ломмеля—Зеелигера и «лунный». Рассмотрим теперь закон Ламберта и его модификации с целью выяснения их применимости.

Таблица 2

Объект		Q	Q'	$\frac{B_0}{B_{60}}$	q
Закон Ламберта		1,50	1,50	2,00	1,000
Марс	640 (материк)	1,326	1,31	1,792	0,841
	647 (море)			1,809	0,855
	530 (материк)	1,128	1,15	1,613	0,690
	530 (море)			1,524	0,605
	460 (материк)	0,885	1,05	1,406	0,492
	430 (море)			1,572	0,652
Луна		—	0,580	1,000	0,000

Если распределение яркости по диску планеты имеет вид $B = B_0 \cos^q i$, то геометрическое альbedo планеты p можно получить следующим образом:

$$p = 2\rho_0 \int_0^1 \cos^{q+1} i d(\cos i) = \frac{2\rho_0}{q+2},$$

где ρ_0 — яркостный фактор центра диска. Используя известную формулу для звездной величины планеты в противостоянии

$$m(1,0) = \frac{0,4m_\odot - 2 \lg a - \lg p}{0,4},$$

получаем выражение, связывающее блеск планеты $m(1,0)$, центральную яркость ρ_0 и фактор гладкости q :

$$m(1,0) = \frac{0,4m_\odot - \lg 2 - 2 \lg a - \lg \rho_0 + \lg(q+2)}{0,4}.$$

Для применения этой формулы нужно знать ρ_0 — среднее значение яркостного фактора центра диска планеты в противостоянии. Но при нулевой фазе Марс с Земли вообще не наблюдается, а при наблюдавшихся во время противостояния 1956 г. фазах ($\alpha \leq 10^\circ$) центр диска Марса в большинстве случаев был занят морями. Попробуем все же оценить значение величины ρ_0 , используя наблюдения при различных фазах и приведя их к нулевой. При этом будем исходить из закона Ламберта. Строго говоря, мы не имеем права так делать, ибо как раз и ищем закон отражения. Но закон Эйлера дает тот же, а закон Ломеля — Зеелигера близкий к этому результат. «Лунный» закон может только увеличить ρ_0 . Таким образом, мы находим по крайней мере нижнюю границу для ρ_0 . Используя каталог [12], получаем $\rho_{0\text{моря}} = 0,253$, $\rho_{0\text{материка}} = 0,316$. (Для материка брались значения ρ ближайших к центру диска точек и приводились к центру). Осредняя эти величины с весами 1 и 5 (в таком отношении поверхность Марса покрыта морями и материками), находим, что $\rho_0 = 0,306$. Использовались данные за период июнь — август 1956 г., соответствующие наибольшей прозрачности атмосферы Марса. Заметим также, что графическая экстраполяция наблюдаемых значений ρ к $\alpha = 0^\circ$, хотя и делается недостаточно уверенно, дает те же результаты.

Согласно спектрофотометрическим наблюдениям Марса, выполненным в 1960—1961 гг. (тогда же, когда и интегральные наблюдения Н. Ибра-

гимова) на ГАО АН УССР [19], значение ρ_0 материка оказывается равным 0,321 (для $\lambda = 647 \text{ мμ}$). Учитывая приведенное там же среднее значение контраста «море — материк» (0,33), получим, что ρ_0 центра диска Марса равно 0,302. В табл. 3 приведены величины $m(1,0)$ для ряда значений ρ_0 и q . Сопоставляя данные этой таблицы с наблюдаемым значением $m(1,0) = -2^m, 20$ (приведено к $\lambda = 647 \text{ мμ}$) и полученными выше значениями ρ_0 , приходим к выводу, что для Марса приемлемы значения фактора гладкости $q \geq 0,8$ (так при $\rho_0 = 0,302$, $q = 0,822$, а при $\rho_0 = 0,306$ $q = 0,860$).

Таблица 3

$\rho_0 \backslash q$	0,250	0,275	0,300	0,325
1,0	$-1^m, 93$	$-2^m, 04$	$-2^m, 14$	$-2^m, 23$
0,9	$-1, 97$	$-2, 07$	$-2, 17$	$-2, 26$
0,8	$-2, 01$	$-2, 11$	$-2, 21$	$-2, 30$
0,7	$-2, 05$	$-2, 15$	$-2, 25$	$-2, 34$
0,6	$-2, 09$	$-2, 19$	$-2, 29$	$-2, 38$
0,5	$-2, 13$	$-2, 23$	$-2, 33$	$-2, 42$
0,4	$-2, 17$	$-2, 28$	$-2, 37$	$-2, 46$
0,3	$-2, 21$	$-2, 32$	$-2, 42$	$-2, 51$
0,2	$-2, 27$	$-2, 37$	$-2, 47$	$-2, 56$
0,1	$-2, 32$	$-2, 42$	$-2, 52$	$-2, 61$
0,0	$-2, 36$	$-2, 47$	$-2, 57$	$-2, 66$

Выше всюду рассматривались результаты наблюдений Марса в красных лучах и предполагалось, что влияние атмосферы здесь не существенно. Рассмотрим вопрос о законности этого предположения. В табл. 4 приведены значения звездных величин $m(1,0)$ для ряда значений оптической толщины атмосферы τ и альbedo поверхности A , дающие значения $\rho_0 = 0,250; 0,275, 0,300, 0,325$. При этом предполагалось, что поверхность отражает свет по закону Ламберта, а атмосфера рассеивает его по закону Релея. Геометрическое альbedo p вычислялось по формуле

$$p = AF_1(\tau) + QF_2(\tau),$$

где

$$F_1(\tau) = \frac{1}{3} \{ (2\tau)^3 Ei(-2\tau) + e^{-2\tau} [2 - 2\tau + (2\tau)^2] \},$$

$$F_2(\tau) = 1 + (2\tau)^2 Ei(-2\tau) - e^{-2\tau} \left(\frac{1}{2} - \tau \right).$$

Эта формула получена путем интегрирования по диску формулы Н. Н. Сытинской

$$p = A \cos i e^{-2\tau} + Q(1 - e^{-2\tau}),$$

которая дает достаточно хороший результат при $\tau \leq 0,5$. Здесь Q — фактор атмосферы, в релеевском случае равный 0,188. Видно, что влияние атмосферы невелико и не может существенно повлиять на сделанные выше выводы, ибо мы можем принять значения τ порядка 0,02—0,05.

В последней графе табл. 4 приведены данные о блеске планеты с черной поверхностью и атмосферой различной оптической толщины.

В дальнейшем мы попытаемся на основании изучения распределения яркости на диске Марса подойти к решению вопроса о том, насколько закон отражения света от поверхности Марса отличается от ламбертовского. Иными словами, попытаемся хотя бы приближенно определить численное значение фактора гладкости при прозрачной атмос-

фере, считая, что альbedo вдоль экватора интенсивности, где производились измерения, одинаково.

Таблица 4

τ \ ρ_0	0,250	0,275	0,300	$A = 0$
0,00	$-1^m,94$	$-2^m,02$	$-2^m,14$	—
0,02	$-1^m,97$	$-2^m,05$	$-2^m,16$	$+0^m,78$
0,05	$-2^m,01$	$-2^m,00$	$-2^m,19$	$-0^m,12$
0,10	$-2^m,06$	$-2^m,14$	$-2^m,20$	$-0^m,74$
0,15	$-2^m,09$	$-2^m,17$	$-2^m,24$	$-1^m,07$
0,20	$-2^m,11$	$-2^m,19$	$-2^m,26$	$-1^m,28$
0,25	$-2^m,13$	$-2^m,20$	$-2^m,27$	$-1^m,43$
0,30	$-2^m,14$	$-2^m,21$	$-2^m,28$	$-1^m,52$
0,35	$-2^m,15$	$-2^m,22$	$-2^m,28$	$-1^m,62$
0,40	$-2^m,16$	$-2^m,23$	$-2^m,29$	$-1^m,69$
0,45	$-2^m,16$	$-2^m,23$	$-2^m,29$	$-1^m,73$
0,50	$-2^m,17$	$-2^m,24$	$-2^m,30$	$-1^m,79$

Исследователи, высказывающиеся против применимости к сфере Марса закона Ламберта в пределах от 0 и до 0,85 радиуса от центра диска, утверждают, как уже указывалось, что наблюдаемое распределение яркости на диске Марса, близкое к ламбертовскому ($q = 0,8-0,9$), не реально, а является следствием искажающего действия земной атмосферы, связанного с ее оптической нестабильностью. Действительному же распределению яркости на диске Марса соответствует $q \leq 0,5$. Чтобы оценить вероятность такого утверждения, рассмотрим сначала результаты фотометрических наблюдений поверхности Марса, а затем попробуем определить, какой интенсивности дрожание может превратить q из единицы в 0,5 и наоборот. Конечно, при этих расчетах предполагается, что качество оптики инструментов, используемых для наблюдений Марса, тщательно исследовалось и что атмосферные условия во время наблюдений были не хуже того предела, при котором можно производить фотометрирование дисков планет [9].

Рассмотрим имеющиеся в нашем распоряжении результаты измерений яркости на диске Марса. Немаловажным фактором, говорящим в пользу близости закона отражения света от поверхности Марса к закону Ламберта, является то, что большинство наблюдателей, занимавшихся исследованием распределения яркости на диске Марса, получали его весьма близким к ламбертовскому. Довольно убедительным доводом, свидетельствующим о том, что закон отражения света от твердой поверхности Марса значительно отличается от лунного закона, служит так называемый второй эффект Райта, в силу которого диаметры фотографических изображений Марса в инфракрасных и красных лучах значительно меньше, чем в синих и ультрафиолетовых при одном и том же масштабе изображения, или при одинаковом эквивалентном фокусе телескопа. Так как такие фотографии производятся непосредственно одна за другой, то объяснение различия диаметров разными атмосферными условиями и неодинаковой степенью дрожания исключается.

В свое время Н. П. Барабашов показал [10], что в данном случае при переходе к более коротким волнам действует чисто фотографический эффект, зависящий 1) от различия в распределении яркости по диску планеты в этих лучах и 2) от различной контрастности пластинок, употреблявшихся при фотографировании в красных и синих лучах.

Из распределения яркости по диску Марса для инфракрасных лучей следует, что яркость точек, расположенных на расстоянии 0,98 ра-

диуса от центра диска, не превосходит 0,2 яркости центральных областей это составляет около 1^m , 7. Отношение же яркости между центром изображения и наиболее слабым из еще заметных на рассматриваемых пластинках эталонов шкалы трубчатого фотометра составляет для снимков 10—22 июля 1932 г. от $1^m,2$ до $0^m,56$. Отсюда следует, что слабо светящиеся краевые части диска планеты, если центр не передержан, а экспонирован нормально (в красных лучах), не могут запечатлеться на фотопластинке, и диаметр диска получится меньшим, чем он есть в действительности. В синих лучах, для которых кривая распределения яркости по диску или совсем не падает к краю, или падает значительно медленнее, чем в красных, этого эффекта нет, что полностью подтверждается нашими измерениями.

У Юпитера, видимый диаметр которого иногда всего лишь на 7" больше марсианского, такой эффект не наблюдается. Красные и синие кривые снижаются от центра к краю почти одинаково. Это говорит о том, что сильное снижение кривых распределения яркости на диске Марса в красных и инфракрасных лучах не является следствием влияния земной атмосферы, а представляет собой реально существующий факт.

Н. П. Барабашов находил при прозрачной атмосфере Марса $0,8 < q < 1$, а Н. Н. Сытинская $q = 1,18$ или даже $q = 1,30$ для материков и $q = 1,0—1,18$ для морей [11].

Н. П. Барабашов и И. К. Коваль в 1956 г. нашли для материков $0,83 < q < 1,09$, а для морей $0,51 < q < 0,70$. Чтобы подтвердить, что q близко к единице, приводим табл. 5, в которой дано распределение яркости на диске Марса в красных лучах для $\alpha \approx 0$ по фотометрическим наблюдениям Н. П. Барабашова [6], Н. Н. Сытинской [11] и И. К. Ковалья.

Таблица 5

$i = \epsilon$	По Н. П. Барабашову, 1932, 1939, 1950 $\lambda = 647m\mu$	По Н. Н. Сытинской, 1939 $\lambda = 750m\mu$ $\lambda = 630m\mu$		По И. К. Ковалю, 1954 $\lambda = 640m\mu$	По Н. П. Барабашову, 1956 $\lambda = 647m\mu$	Среднее	Ламберт
0°	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
20	0,920	0,914	0,932	0,975	0,900	0,928	0,940
40	0,754	0,714	0,741	0,813	0,744	0,753	0,766
60	0,558	0,465	0,525	0,544	0,540	0,526	0,500

Рассматривая эту таблицу, видим, что полученные распределения яркости по диску Марса в пределах 0—0,86 радиуса планеты, считая от центра диска, для $\alpha \approx 0$ в красных лучах близки между собой и что q для средних значений $q_{\text{ср}} = 0,93$. Учитывая, что наблюдения производились лишь при таких атмосферных условиях, которые позволили использовать участок 0—0,85 радиуса планеты, и что ошибки как инструментальные, так и присущие фотографической фотометрии тщательно исключались, трудно допустить, чтобы в действительности $q_{\text{ср}} \leq 0,8$. Если бы $q = 0,5$, как думают некоторые, то ошибка на расстоянии 0,85 от центра диска составляла бы около 20% яркости центра диска.

Для закона Ламберта яркость не зависит от разности азимутов между падающим и отраженным лучами. Поэтому, если этот закон близок к марсианскому, максимальная яркость при любой фазе должна соответствовать той точке диска планеты, в которой $i = 0$, независимо от величины ϵ . Расстояние этой точки от центра диска равно в единицах радиуса $\sin \alpha$, а яркость $B = B_0 \cos \alpha$.



Проверим, удовлетворялись ли эти соотношения для наблюдений 1956 г. в тех случаях, когда атмосфера Марса была достаточно прозрачной. В табл. 6 приведены данные о распределении яркости для углов фаз $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 28^\circ$, $\alpha = 38^\circ$ и $\alpha = 40^\circ$.

Таблица 6

$\lambda_{\text{мр}}$	0,647	0,750	0,750	0,647	Среднее	Ламберт
i	$\alpha = 0^\circ$	28°	38°	40°		
0°	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	0,96	0,98	0,97	0,96	0,97	0,98
20	0,92	0,92	0,92	0,89	0,92	0,94
30	0,83	0,86	0,85	0,82	0,83	0,97
45	0,70	0,72	0,72	0,70	0,71	0,71
58	0,55	0,53	0,56	0,57	0,55	0,53

Из этой таблицы видим, что среднее распределение для $\alpha = 0, 28, 38$ и 40° достаточно хорошо удовлетворяет ламбертовскому и указывает на почти полное отсутствие зависимости от азимута. В дальнейшем с помощью космических аппаратов можно будет получить распределение яркости по диску Марса для большего интервала углов фазы, что позволит с большой точностью определить, насколько отступает закон Ламберта от марсианского и для частей диска, более близких к краю, чем рассматриваемые нами.

Приводим здесь также части индикатрис Марса, построенные нами для двух светофильтров с максимумами пропускания $\lambda = 750\text{мр}$ и $\lambda = 647\text{мр}$. Эти индикатрисы построены для углов $i = 0, 20, 30, 40^\circ$ (табл. 7).

Таблица 7

i	0°		20°		30°		40°	
$\lambda_{\text{мр}}$	750	647	750	647	750	647	750	647
60°	—	—	0,97	1,01	0,96	0,99	0,95	0,96
50	—	—	0,98	1,01	0,98	0,99	0,97	0,96
40	0,94	0,94	0,99	1,02	0,99	0,99	0,99	0,96
30	0,94	0,96	1,00	1,02	1,00	1,00	1,00	0,97
20	0,95	1,00	1,01	1,01	1,01	1,00	1,01	1,00
10	1,00	1,01	1,00	1,00	1,01	1,00	1,01	1,00
0	1,000	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,97
10	1,00	1,01	0,99	0,97	1,00	0,97	1,00	0,97
20	0,95	1,00	0,99	0,98	1,00	0,97	1,00	—
30	0,94	0,96	0,99	1,01	1,00	0,96	1,00	—
40	0,94	0,94	—	—	1,01	0,96	1,01	—

Рассматривая табл. 7, снова приходим к выводу, что зависимость яркости от ϵ настолько слаба, что в пределах $\alpha = 0-40^\circ$ ею можно пренебречь. Полученные части индикатрис довольно близки к тем, которые характерны для очень мелких охристых песков, измельченного красноватого туфа и лимонита с зернами размером 0,01—0,1 мм.

Небезынтересно посмотреть, как должны изменяться с углом фазы центральные яркости планеты, отражающей свет по закону Ламберта, Ломмеля — Зеелигера и Эйлера, если ее угол фазы может изменяться в тех же пределах, что и для Марса, т. е. от 0 до 48° . Центральные яркости для этих законов таковы: для Ламберта $B_1 = B_1^0 \cos \alpha$, Ломмеля — Зеелигера $B_2 = B_2^0 \left(1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}\right)$ и Эйлера $B_3 = B_3^0 \cos \alpha$.

В табл. 8 приведены значения яркости для $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 48$, где для всех упомянутых законов яркость при $\alpha = 0^\circ$ принята за единицу.

Таблица 8

Закон	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 48^\circ$	Отличие, %
Ламберт	1,00	0,67	33
Ломмель — Зеелигер	1,00	0,80	20
Эйлер	1,00	0,67	33

Отсюда видно, что лишь по этим данным закон Ламберта нельзя отличить от закона Эйлера, так как центральные яркости у них в зависимости от α изменяются одинаково. Закон Ломмеля — Зеелигера можно было бы отличить от законов Ламберта и Эйлера на основании изучения изменений центральных яркостей Марса в пределах $\alpha = 0-48^\circ$, если бы у нас имелись более многочисленные и точные наблюдения.

Следует напомнить, что о неприменимости для Марса законов Ломмеля — Зеелигера и Эйлера говорит и то, что согласно этим законам яркость при любой фазе зависит только от планетографической долготы и совершенно не зависит от фотометрической широты; в то же время по закону Ламберта она пропорциональна $\cos \psi \cos \omega$, т. е. изменяется с широтой, что мы наблюдаем и на Марсе. Наблюдения показывают, что если отвлечься от различия альбедо, то изменения яркости на Марсе вдоль экватора интенсивности и вдоль центрального меридиана одинаковы. Посмотрим теперь, насколько приемлемо утверждение, что наблюдаемое распределение яркости на диске Марса обусловлено в основном искажающим действием атмосферного дрожания, а истинное распределение при $\alpha \approx 0$ близко к $B = B_0 \cos^{0.5} i$.

Н. П. Барабашов, В. И. Гаража и В. Н. Дудинов [13] показали, что при дрожании порядка $1'',5$ и диаметре Марса $25''$ атмосферные искажения вплоть до $i = 60^\circ$ незначительны. При этом дрожание изображения планеты, вследствие которого соседние участки диска планеты как бы налагаются друг на друга, влияет в направлении выравнивания яркости этих участков.

При этом дополнительные определения турбулентности t с помощью практического метода Данжона позволили установить, что по шестибальной системе (балл 6 соответствует очень плохому изображению) качество изображения I пропорционально t во всем интервале измерений $\left(\frac{t}{\varepsilon} = 0,19I\right)$, где $\varepsilon = 1,22 \frac{\lambda}{D}$, λ — эффективная длина волны $\approx 0,56\mu$, D — диаметр объектива или зеркала телескопа [14]. Согласно данному замечанию, для кривой, имеющей заметное падение яркости к краю диска, турбулентция не может еще более усилить это падение, т. е. увеличить q , а только уменьшить его. Следовательно, если средняя кривая распределения яркости на диске Марса по нашим наблюдениям (в пределах от 0 до 0,85 радиуса при хороших атмосферных условиях $B_0 = 1,000$ и $B_{60} = 0,526$) может быть представлена выражением $B = B_0 \cos^{0.93} i$, где $0 < i < 60^\circ$, то истинное q марсианского закона вряд ли может быть меньше 0,9 и, тем более, 0,8.

Е. А. Горлан и Мерль Ф. Валкер [15] (Ликская обсерватория в Калифорнии) предлагают конструкцию контрольного инструмента для определения того, каким может быть изображение звезды в большом телескопе, вблизи которого установлен контрольный. Употребляемый с такой целью инструмент должен обеспечивать объективную оценку качества изображения независимо от мастерства или умения наблюдателя.

Очень интересно, что на фотографиях Марса, полученных в США с помощью космического аппарата Маринер-4, видно некоторое коли-

чество довольно значительных по размерам кратеров. Это обстоятельство, как уже предположили некоторые, является будто бы подтверждением взглядов Е. Эпика и других астрономов, считающих, что поверхность Марса отражает свет по тому же закону, что и лунная. Однако такой вывод, как мы видели, совершенно не обоснован. Дело в том, что все проведенные фотометрические и спектрофотометрические наблюдения говорят против подобного вывода; кроме того, наши исследования отражательной способности лунной поверхности с несомненностью показали, что закон отражения в основном обуславливается микро-, а не макро-рельефом. Естественно, что поверхность Марса, у которого имеется заметная атмосфера, не могла стать столь шероховатой и изрытой, как лунная, подверженная из-за отсутствия атмосферы в полной мере влиянию всех космических факторов. Мы считаем, что поверхность Марса, хотя на ней и имеются кратеры, подобные лунным, покрыта мелкой пылью, обуславливающей присущий этой поверхности закон отражения света.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Барабашов. Циркуляр ХАО, № 26, стр. 3, 1963.
2. И. К. Коваль. «Астр. ж.», 34, вып. 3, 1957.
3. И. К. Коваль и А. В. Мороженко. Изв. комиссии по физике планет, вып. 4, стр. 38, 1963.
4. E. I. Örik. Journ. of Geophysical Research, vol. 65, № 10 p. 3057, 1960.
5. Н. Ибрагимов. Вестн. ХГУ, № 4, серия астр. вып. 1, 1965.
6. Н. П. Барабашов. Труды ХАО, т. 14, стр. 103, 1962.
7. Н. П. Барабашов. Циркуляр ХАО, № 25, стр. 3, 1962.
8. K. Bullrich. Ber. Deutsch. Wetterd. U. S. Zone, № 4, 1948.
9. Н. П. Барабашов. О методах фотографической фотометрии планет. Изд-во ХГУ, Харьков, 1966.
10. Н. П. Барабашов и И. Тимошенко. «Астр. ж.», т. XVII, вып. 5, стр. 44, 1940.
11. Н. Н. Сытинская. Труды юбилейной научной сессии. Изд-во ЛГУ, стр. 40, 1948.
12. Н. П. Барабашов и И. К. Коваль. Фотографическая фотометрия Марса со светофильтрами в 1956 г. Изд-во ХГУ, Харьков, 1959.
13. Н. П. Барабашов, В. И. Гаража, В. Н. Дудинов. «Астр. ж.», т. XLIII, вып. 1, стр. 144, 1966.
14. Ж. Вокулер. Физика планеты Марс. Изд-во иностр. лит., М., стр. 306, 1956.
15. E. A. Harlan, M. F. Walker. Publs. Astron. Soc. Pacif., 1965, 77, № 457, p. 246—252.
16. Д. Гаррис. Планеты и спутники. Изд-во иностр. лит., М, 1963.
17. Л. А. Акимов. Вестн. ХГУ, 1965, № 4.
18. Н. П. Барабашов. Результаты фотометрических исследований Луны и планет на ХАО. Изд-во ХГУ, Харьков, 1957.
19. Е. И. Дидыченко, И. К. Коваль, А. В. Мороженко. Изв. ГАО АН УССР, т. V, вып. 1, 1963.

Статья поступила 15 сентября 1966 г.

О РАЗЛИЧИИ МИКРОРЕЛЬЕФА ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

Н. П. Барабашов, В. И. Езерский, Б. М. Зыков, В. И. Лацько

Фотометрический метод изучения различия микрорельефа отдельных участков лунной поверхности [1, 2] состоит в сопоставлении полученной из наблюдений фазовой функции детали с соответствующими данными для фотометрически средней лунной поверхности. Закон отражения фотометрически средней лунной поверхности, выведенный путем статистического усреднения достаточно большого числа фотометрических данных каталога В. А. Федорец [3], соответствует сферически ровной лунной поверхности и некоторому среднему микрорельефу. При этом в соответствии с установленной в работе [4] особенностью отражения света от лунной поверхности яркость выражалась как функция угла фазы α и фотометрической долготы λ .

Фотометрические особенности деталей оценивались следующим образом. Для всех наблюдаемых значений яркости детали, приведенных к яркости детали при минимальном значении угла фазы, чем исключалось влияние различия отражательной способности, определялась разность

$$\Delta B = B - B_m,$$

где B — приведенная наблюдаемая яркость детали, а B_m — яркость фотометрически средней лунной поверхности при тех же значениях α и λ . Окончательно выводилось среднее относительное отклонение яркости, т. е. $\frac{\Delta B}{B_m}$, характеризующее фотометрические особенности детали по отношению к закону для фотометрически средней лунной поверхности.

В качестве другого, независимого параметра также характеризующего фотометрические особенности, был введен относительный градиент яркости вблизи полнолуния, определяемый по соотношению

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

где $\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)_0$ — градиент яркости детали вблизи полнолуния, определяемый по данным каталога [3] как среднее значение на интервале $(-8^\circ, 9; -7^\circ, 1 \div -1^\circ, 5)$ и на интервале $(-1^\circ, 5 \div +4^\circ, 6; +5^\circ, 5)$, а $\overline{\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)}_0$ — среднее значение градиента по всем деталям каталога, которое оказалось равным $\overline{\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right)}_0 = 0,0225$.

Определением указанных выше параметров $\left(\frac{\Delta B}{B_m}\right)$ и Δ_0 были выявлены

детали каталога [3], имеющие фотометрические особенности, данные о которых приведены в работе [2].

Качественная интерпретация выявленных фотометрических особенностей состоит в следующем. Детали, у которых среднее относительное отклонение яркости отрицательно, относительный градиент яркости вблизи полнолуния положительный и при этом $\left| \frac{\Delta B}{B_m} \right| \geq 0,1$ и $\Delta_0 \geq 0,5$, по-видимому, отличаются большей степенью пористости. Если же среднее относительное отклонение яркости положительно, а относительный градиент яркости вблизи полнолуния отрицательный, причем $|\Delta_0| \geq 0,5$ и $\frac{\Delta B}{B_m} \geq 0,1$, детали отличаются меньшей степенью пористости.

Попытка количественной интерпретации выявленных фотометрических особенностей проведена [2] на основании теории отражения света для пористых субстанций, развитой Б. Хапке [5].

Полученные Б. Хапке формулы имеют вид

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

Здесь α — угол фазы;

λ — фотометрическая долгота;

g — так называемый фактор упаковки, зависящий от относительной плотности, т. е. доли объема, занятого сплошным веществом;

$\varphi(\alpha, \lambda)$ — закон Ломмеля — Зеелигера, учитывающий рассеяние первого порядка,

$$\varphi(\alpha, \lambda) = \frac{1}{1 + \frac{\cos \lambda}{\cos(\lambda - \alpha)}}, \text{ или } \varphi(i, \epsilon) = \frac{1}{1 + \cos \epsilon / \cos i},$$

где i — угол падения,

ϵ — угол отражения;

$\psi(\alpha)$ — фазовая функция для ортотропного шара, т. е.

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

и, наконец, $b(\alpha, g)$ — функция обратного рассеяния,

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

Для деталей, обладающих фотометрическими особенностями, определяли значения фактора упаковки и величину $\Delta\lambda$, учитывающую наклон относительно сферической поверхности. Эти величины находили, решая по способу наименьших квадратов систему условных уравнений, учитывающих только производные первого порядка

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

Здесь Δg — отклонение значения фактора упаковки относительно его среднего значения для фотометрически средней лунной поверхности, равного $g_m = 0,6$. В работе [2] приведены значения параметров, полученные указанным способом для 14 деталей. В настоящей работе приводятся значения этих параметров, определенных тем же способом для всех деталей каталога [3], имеющих фотометрические особенности. Полученные значения вместе с их средними квадратическими значениями и отклонениями приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

№	Названия деталей	β	λ	$\frac{\Delta B}{B_m}$	Δ_0	g	$\sigma(\Delta g)$	$\Delta\lambda$	$\sigma(\Delta\lambda)$	ρ_0	St
1	Море Кризисов	+20,0°	+61,0°	-0,132	+0,684	0,38	± 0,12	+3,8°	± 1,3°	0,105	II
2	Море Кризисов	+18,2	+54,5	-0,172	+0,902	0,30	0,11	+4,7	1,8	0,106	II
3	Море Кризисов	+12,2	+56,5	-0,247	+1,24	0,12	0,15	+2,1	1,6	0,108	II
5	Море Нектара	-15,0	+34,1	-0,038	+0,715	0,45	0,07	0,0	1,8	0,118	II
7	Венеделин	-17,0	+61,6	-0,218	+0,724	0,21	0,18	+2,2	1,6	0,145	II
15	Море Ясности	+25,9	+17,0	-0,113	+0,800	0,29	0,10	+0,1	1,3	0,089	II
15a	Море Ясности	+28,8	+10,0	-1,164	+0,857	0,31	0,12	+1,7	1,8	0,090	II
17	Море Ясности	+22,0	+13,0	-0,095	+0,856	0,45	0,10	+1,3	1,8	0,082	II
30	Море Изобилия	-3,1	+56,0	-0,260	+1,02	0,08	0,18	-0,3	2,7	0,113	II
31	Море Изобилия	-4,0	+46,0	-0,186	+1,24	0,29	0,09	+6,1	1,8	0,111	II
32	Море Изобилия	-7,5	+47,0	-0,190	+0,462	0,17	0,13	+6,1	2,4	0,138	II
33	Море Изобилия	-7,5	+45,0	-0,216	+0,809	0,08	0,10	+6,3	1,9	0,132	II
34	Горная область возле Моря Кризисов	+8,2	+68,0	-0,276	+0,653	0,9	0,15	+14,9	2,7	0,149	I
36	Море Спокойствия	-4,0	+25,0	-0,031	+0,698	0,47	0,06	-0,9	1,3	0,111	II
38	Материк	+13,0	+12,0	-0,182	+0,987	0,21	0,10	+6,2	1,3	0,115	I
40	Материк	+38,0	+43,0	-0,184	+0,147	0,30	0,13	+0,7	1,7	0,157	I
41	Море Спокойствия	+8,0	+30,0	-0,212	+1,15	0,25	0,14	+2,5	2,4	0,089	II
42	Море Спокойствия	+12,0	+37,0	-0,084	+0,516	0,47	0,06	+8,1	1,8	0,083	II
43	Море Спокойствия	+1,0	+25,0	-0,100	+0,871	0,35	0,07	+1,3	0,9	0,100	II
44	Гиппарх, центр	-5,0	+5,1	-0,083	+0,400	0,40	0,10	-0,1	0,3	0,152	I
60	Центральный Залив	+7,0	-8,0	-0,175	+0,427	0,34	0,16	+0,1	1,0	0,083	II
71	Архимед, дно	+29,8	-4,0	-0,150	+1,11	0,48	0,15	-2,0	1,0	0,110	II
75	Светлая полоса в Море Дождей	+23,0	-21,8	-0,167	+0,609	0,33	0,12	+3,2	1,6	0,116	II
77	Светлая полоса возле Тимохариса	+28,0	-15,5	-0,135	+0,631	0,39	0,11	+1,3	1,2	0,107	II
83	Море Дождей	+30,0	-17,0	-0,097	+0,711	0,47	0,12	-2,0	1,9	0,088	II
91	Море Дождей	+40,0	-28,0	-0,174	+0,911	0,26	0,13	-5,2	3,5	0,091	II
92	Море Дождей	+29,0	+6,0	-0,075	+0,524	0,38	0,08	-1,4	0,6	0,101	II
95	Море Облаков	-8,0	-13,0	-0,176	+0,654	0,28	0,12	+0,6	1,7	0,094	II
99	Залив Зноя	+12,0	-3,6	-0,136	+0,858	0,34	0,09	+1,7	1,1	0,100	II
110	Залив Росы	+42,0	-52,0	-0,076	+0,619	0,48	0,09	-2,8	1,5	0,086	II
111	Пятно Вуда	+24,0	-50,0	-0,170	+0,893	0,13	0,10	-1,4	0,9	0,111	III
112	Светлый луч возле Аристарха	+26,0	-48,0	-0,202	+0,538	0,32	0,16	-2,6	1,6	0,167	III
128	Западный край Луны	0,0	+70,0	-0,186	+0,796	0,37	± 0,16	+7,0	± 3,2	0,152	I

О различии микро рельефа отдельных участков лунной поверхности.

Таблица 2

№	Названия деталей	β	λ	$\frac{\Delta B}{B_m}$	Δ_o	g	$\sigma(\Delta g)$	$\Delta\lambda$	$\sigma(\Delta\lambda)$	ρ_o	St
19	Берег рядом с Посидонием	+27,7	+34,0	+0,224	-0,667	1,50	$\pm 0,26$	+0,6	$\pm 1,^{\circ}9$	0,098	I
20	Озеро Снов	+35,5	+35,0	+0,116	-0,058	1,09	0,18	-3,9	2,2	0,088	II
23	Кирилл	-13,3	+24,0	+0,234	-0,658	1,74	0,21	-2,6	1,6	0,151	I
24	Катарина	-17,4	+23,0	+0,110	-0,258	0,99	0,26	-1,0	1,5	0,151	I
27	Посидоний	+31,9	+29,5	+0,227	-0,591	1,50	0,25	+0,2	1,2	0,104	I
28	Менелай	+16,0	+15,9	+0,218	-0,880	1,47	0,22	+2,8	2,4	0,112	III
29	Манилий	+14,4	+8,5	+0,268	-0,800	1,74	0,20	-6,7	1,7	0,111	III
35	Берег Болота Сна возле Прокла	+16,4	+45,2	+0,234	-0,582	1,68	0,20	+2,8	2,4	0,133	I
54	Темное пятно в Альфонсе	-13,3	-4,4	+0,033	-0,578	0,86	0,15	+0,4	0,7	0,118	III
61	Тихо, дно	-43,0	-11,1	+0,096	-0,831	1,21	0,20	+7,0	0,9	0,180	III
62	Светлый луч возле Тихо	-41,1	-8,0	+0,086	-0,644	1,02	0,21	+0,4	1,1	0,175	I
63	Рядом, не луч	-40,0	-11,0	+0,288	-1,24	1,66	0,32	-0,9	1,4	0,138	I
64	Кольцо Тихо	-43,0	-13,0	+0,187	-0,960	1,62	0,38	-0,6	2,0	0,173	III
65	Светлый луч Тихо	-36,5	-28,0	+0,096	-0,804	1,02	0,18	+3,9	1,7	0,126	I
66	Рядом, не луч	-35,0	-28,0	+0,132	-0,693	1,08	0,16	+4,0	1,4	0,102	I
68	Рядом, не луч	-33,0	-21,5	+0,152	-0,284	0,97	0,18	+5,0	1,3	0,092	I
69	Светлый луч Тихо	-54,5	-25,0	+0,038	-0,609	0,82	0,18	-0,6	1,5	0,179	I
70	Рядом, не луч	-54,0	-27,0	+0,183	-0,711	1,36	0,23	+3,8	2,8	0,148	I
72	Коперник, центр	+9,0	-20,0	+0,284	-1,10	1,78	0,24	+4,2	1,6	0,134	III
74	Возле Коперника, не луч	+6,0	-22,0	+0,160	-0,547	1,40	0,16	+3,4	1,2	0,097	III
80	Кеплер, центр	+7,5	-37,8	+0,048	-0,342	0,82	0,20	+4,1	2,6	0,137	III
89	Море Дождей	+28,5	-35,0	+0,111	-0,102	1,15	0,16	+7,1	0,7	0,084	II
97	Клавий, центр	-58,0	-15,0	+0,051	-0,764	0,88	0,18	+0,5	0,7	0,186	I
102	Аристарх	+23,0	-47,0	+0,116	-0,544	1,53	0,26	-2,6	1,3	0,192	III
113	Рядом, не луч	+26,0	-46,0	+0,140	+0,058	1,01	0,15	+3,7	0,6	0,099	III
118	Гримальди, дно	-5,2	-67,1	+0,314	-0,529	1,72	0,31	+11,0	1,0	0,072	II
119	Край Луны у Гримальди	-6,0	-78,0	+0,164	-0,609	1,60	0,25	+5,5	2,8	0,105	I
124	Материк	-3,0	-8,0	+0,224	-1,11	1,52	0,27	+4,7	2,4	0,110	I
148	Материк	-32,5	+61,8	+0,152	-0,898	0,98	0,17	+10,4	2,4	0,151	I
149	Материк	-29,5	+50,7	+0,135	-0,796	1,17	0,18	+3,6	1,0	0,150	I
155	Материк	-7,2	-6,0	+0,279	-0,773	1,71	0,21	-1,7	1,4	0,112	I
166	Материк	-15,5	-6,5	+0,201	-0,502	1,40	0,19	-0,8	0,8	0,100	I
167	Материк	-17,0	-46,0	+0,115	+0,129	0,86	$\pm 0,11$	+7,4	$\pm 1,2$	0,119	I

В табл. 1 представлены детали с $g < g_m$, а в табл. 2 — с $g > g_m$. В этих таблицах даны номера деталей по каталогу [3], их названия, селенографические координаты β , λ , значения среднего относительного отклонения яркости, относительный градиент яркости вблизи полнолуния, а также и значения ρ_0 — яркостного фактора детали при $\alpha = -1^\circ,5$. В последней колонке таблиц указан стратиграфический период детали по данным фотогеологической карты Луны Мейсона и Хэкмана [6]. Здесь I означает «доморской» период, II — «морской», а III — «послеморской». Анализ фотометрических особенностей с точки зрения стратиграфии будет проведен далее.

Как показывают данные табл. 1, 2, значения фактора упаковки меняются в значительных пределах от 0,10 до 1,8.

Имеет место качественное согласие между значениями фактора упаковки и значениями фотометрических параметров, характеризующих фотометрические особенности деталей. Детали, у которых среднее относительное отклонение яркости отрицательно, фактор упаковки $g < g_m$, имеют относительно плотную поверхность меньшую, чем для средней Луны, т.е. это детали с большей степенью пористости. И, наоборот, для деталей, у которых среднее относительное отклонение яркости положительно, фактор упаковки $g > g_m$, относительная плотность больше среднего значения. Эти детали должны обладать меньшей степенью пористости.

Для всех деталей, вошедших в табл. 1, 2, были вычислены теоретические значения фазовой функции по формулам Хапке с полученными и приведенными в этих таблицах значениями параметров g и $\Delta\lambda$.

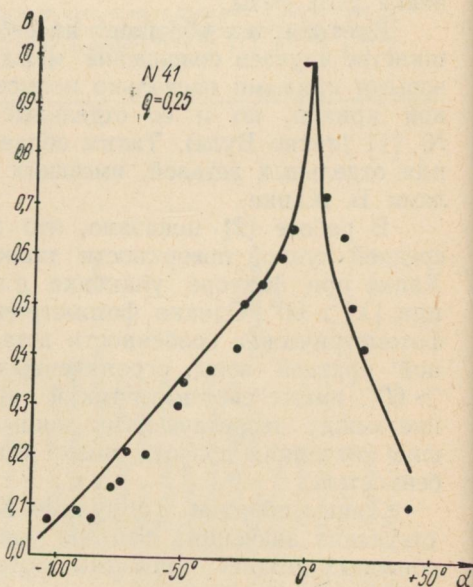
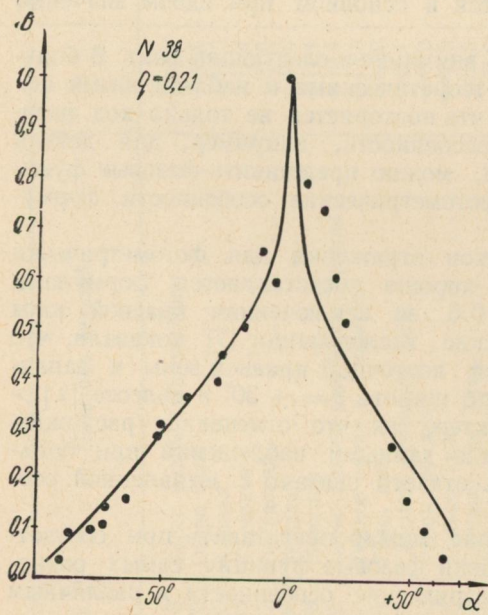
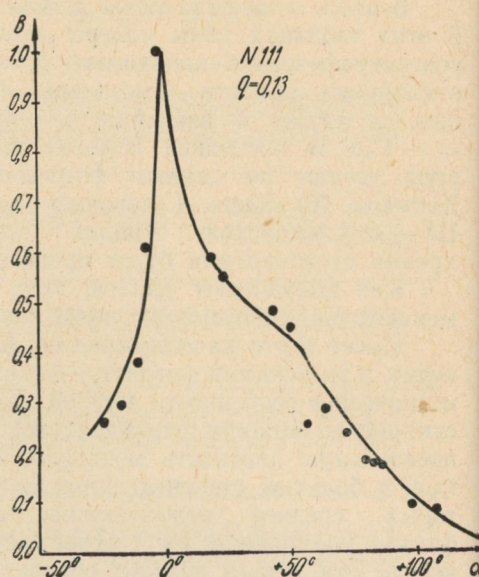
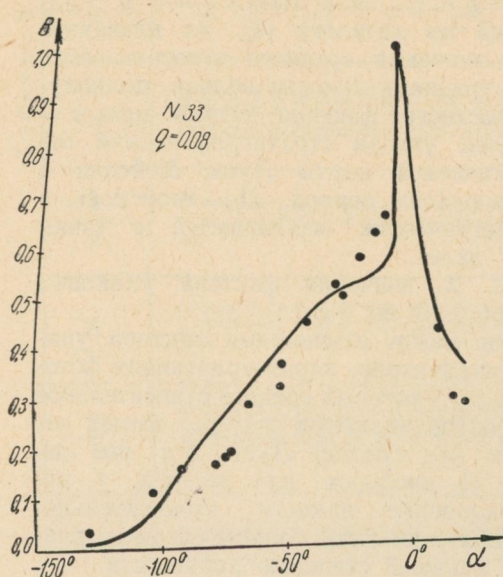
Сопоставление теоретических фазовых функций с данными наблюдений показало, что в подавляющем большинстве случаев имеет место хорошее согласие между ними. Примеры такого сопоставления представлены на рис. 1—12.

Значительные расхождения между теоретическими и наблюдательными данными характерны для деталей, у которых смещен максимум при малых значениях угла фазы. Отмечаются также расхождения для деталей краевой зоны, для которых величины $\Delta\lambda$ и g определяются менее уверенно, так как детали наблюдаются в основном при одном значении знака угла фазы.

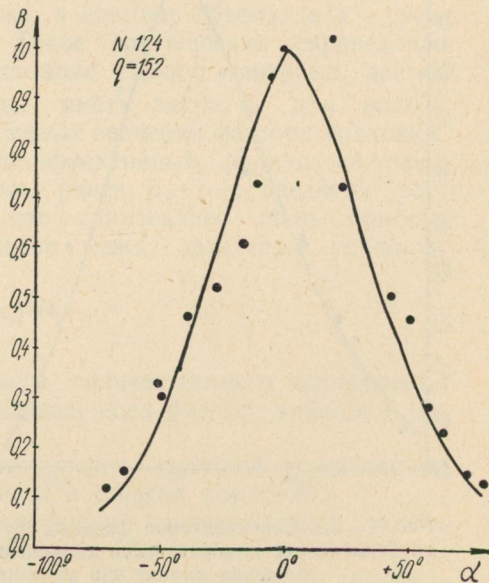
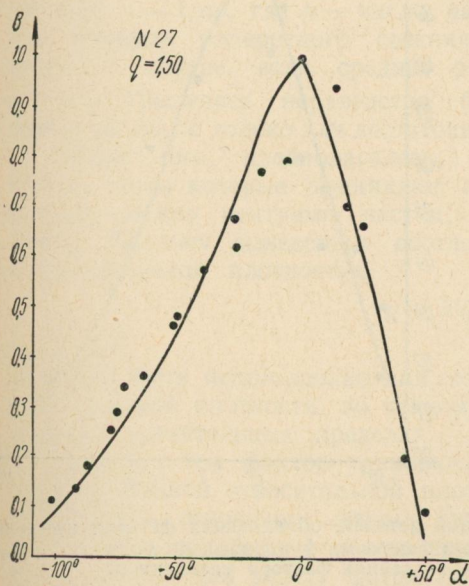
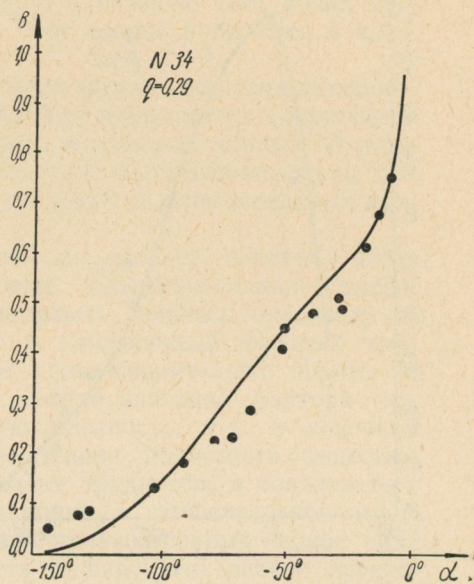
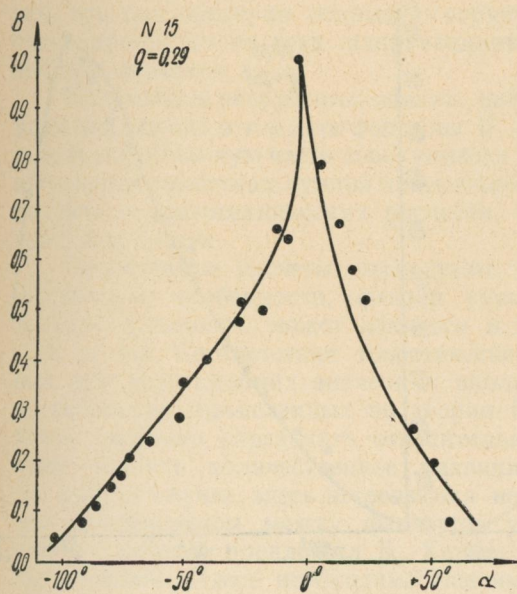
Вместе с тем обращает на себя внимание и следующий факт. В большинстве случаев совпадение между теоретическими и наблюдаемыми фазовыми кривыми настолько полное, что повторяется не только ход фазовой кривой, но и ее отдельные особенности, например, для детали № 111 (пятно Вуда). Таким образом, можно представить фазовые функции отдельных деталей, имеющих фотометрические особенности, формулами Б. Хапке.

В работе [2] показано, что закон отражения для фотометрически средней лунной поверхности также хорошо представляется формулами Хапке при факторе упаковки $g \approx 0,6$, за исключением краевой зоны при $|\lambda| > 60^\circ$. Однако фотометрические исследования [7] показали, что фотометрические особенности деталей восточной краевой зоны и западной краевой зоны, ограниченных по широте $\beta = \pm 30^\circ$ и долготе $|\lambda| > 60^\circ$, имеют систематический характер, так что отмеченное расхождение между теоретическими данными и данными наблюдений при больших значениях долготы может быть отчасти связано с выявленной особенностью.

Таким образом, формулами Хапке можно представить при соответствующих значениях фактора упаковки фазовые функции самых разнообразных деталей, имеющих фотометрические особенности и различным образом расположенных.



ПРОДОЛЖЕНИЕ рис. 1, 12.



ПРОДОЛЖЕНИЕ рис. 1, 12.

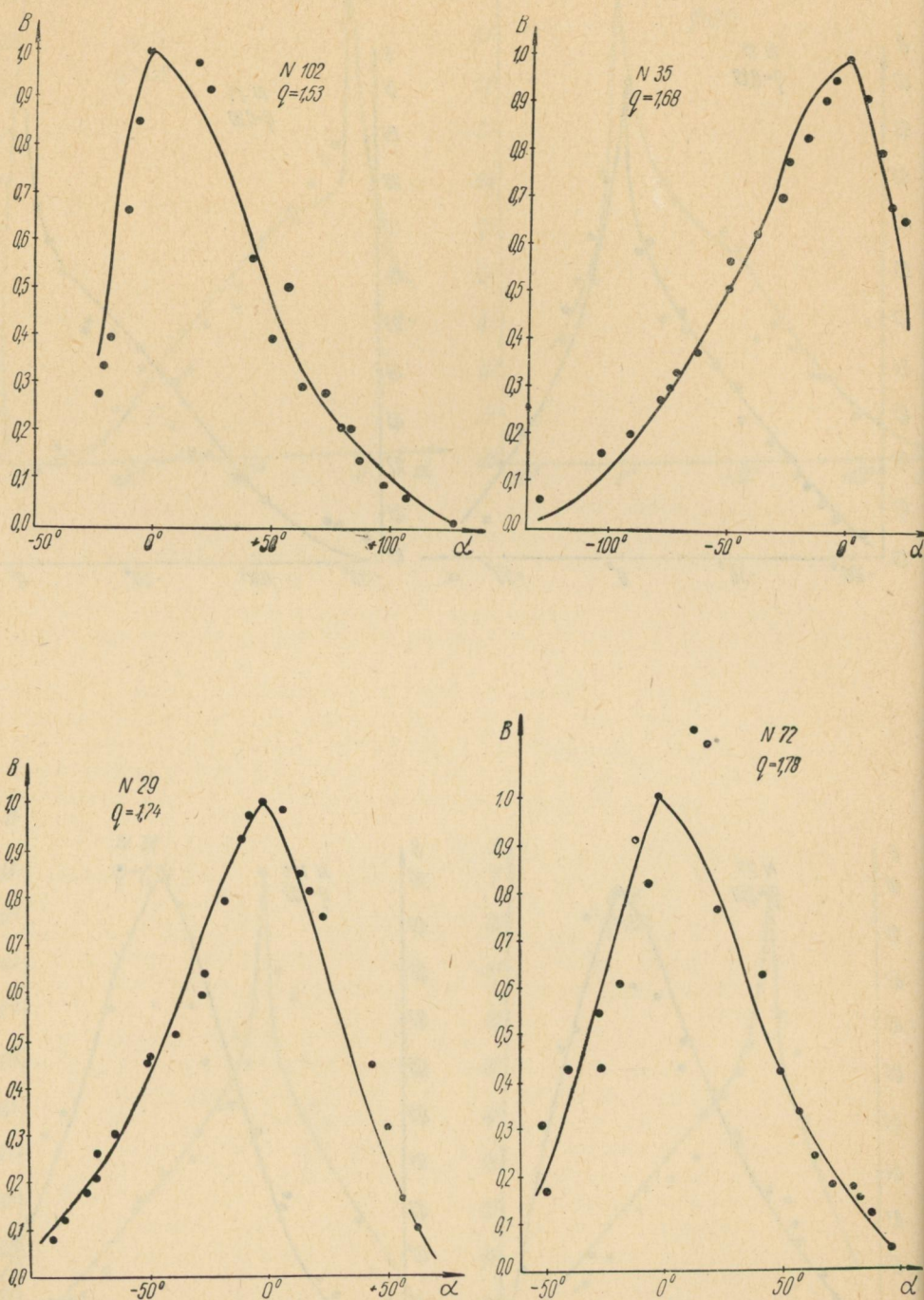


Рис. 1—12. Сопоставление фазовых функций деталей, обладающих фотометрическими особенностями, с теоретически вычисленными фазовыми функциями по формулам Хапке (сплошная линия) при указанных значениях фактора упаковки Q :
— теоретические значения; ● данные наблюдений

Вместе с тем все вышеизложенное не может служить доказательством справедливости предложенной Б. Хапке модели строения лунной почвы, согласно которой последняя представляет собой пористое рыхлое вещество, состоящее из отдельных частиц, связанных между собою так, что они образуют открытую структуру, в которую свет может свободно проникать во всех направлениях. Этот вопрос нуждается в дальнейшем изучении.

Полученные результаты, однако, являются вполне достаточным основанием для вывода о том, что формулы Б. Хапке хорошо могут аппроксимировать значительную часть совокупности фотометрических данных об отражательных свойствах лунной поверхности и могут быть использованы при различных светотехнических расчетах, связанных с исследованиями лунной поверхности.

Проведенные расчеты показывают, что для деталей, имеющих фотометрические особенности, фактор упаковки, характеризующий относительную плотность, может меняться в довольно больших пределах, от 0,10 до 1,8. Соответствие теоретической и наблюдаемой фазовых кривых при этих крайних значениях вполне удовлетворительно. Можно ли на основании вычисленных по теории Б. Хапке значений фактора упаковки уверенно определить относительную плотность, т.е. в конечном счете оценить количественное различие степени пористости вещества. Во всяком случае, здесь встречаются немалые трудности, и пользоваться тем соотношением между фактором упаковки и относительной плотностью, которое предложил Б. Хапке, для количественных оценок вряд ли возможно. Здесь необходимо еще иметь в виду, что расчет предполагал также гомогенность вещества в пределах фотометрируемого участка, а поскольку этого может и не быть, то даже в случае принятия модели Хапке, полученное значение фактора упаковки является одним из возможных решений. Кроме того, соотношение между фактором упаковки и относительной плотностью выведено при некоторых упрощающих предположениях, которые не могут не повлиять на точность определения, особенно для сильно отличающихся значений фактора упаковки.

Так, для величины средней длины свободного пробега τ принято значение $\tau = 1/n\sigma$, где n — число частиц в единице объема, а σ — средняя площадь поперечного сечения. Такое соотношение справедливо только в случае, если среднее расстояние между центрами частиц $d \gg \sqrt{\sigma}$. Последнее неравенство будет иметь место не для всякой формы частиц, и только для достаточно малых значений фактора упаковки.

Кроме того, предполагалось, что эффективный радиус световых трубок, через которые проникают лучи, равен d , т.е. среднему расстоянию между центрами частиц, а это справедливо лишь приближенно. Поэтому выведенное соотношение между фактором упаковки и относительной плотностью

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

где $k \approx 2$,

не может быть использовано для точного количественного определения относительной плотности, во всяком случае, если фактор упаковки меняется в значительных пределах.

Вместе с тем фактор упаковки, несомненно, является качественной характеристикой относительной плотности и степени пористости.

В этом отношении весьма существенным подтверждением такого заключения, как было отмечено еще в работе [2], служит явная тенденция к корреляции между фотометрическими особенностями и тепловы-

ми аномалиями — так называемыми «горячими пятнами», выявляемыми радиометрическими наблюдениями во время лунных затмений.

Одно из возможных объяснений особенностей «горячих пятен» (эти участки во время затмения остывают медленнее и остаются горячее окружающих областей) основано на предположении о более плотном состоянии их вещества [8]. Первоначально эти радиометрические аномалии были установлены для наиболее крупных лучистых кратеров: Тихо, Аристарх, Коперник, Прокл и Кеплер. Данные кратеры находятся в числе тех деталей, которые обладают фотометрическими особенностями, свидетельствующими о большей плотности вещества, т.е. о меньшей степени пористости, причем фотометрические отклонения для этих кратеров определяются с большой достоверностью.

Позже Саари и Шортхилл, наблюдая затмение Луны 19 декабря 1964 г., обнаружили большое число таких «горячих пятен» (около 400), правда, большая часть не столь интенсивна, как обнаруженные ранее. Представляет большой интерес сопоставление фотометрических и радиометрических особенностей. Для этого необходимо провести дополнительные фотометрические измерения, так как имеется мало общих деталей, для которых установлена радиометрическая аномалия и фотометрические особенности, тем более, что не опубликованы значения селенографических координат обнаруженных радиометрических аномалий. Так, например, в число наиболее интенсивных аномалий, описанных Саари и Шортхиллом [9], входит около 30 малых кратеров, которые, однако, не включены в фотометрический каталог [3], на основании которого исследовались фотометрические особенности. Вместе с тем в работе [9] Саари и Шортхилла среди наиболее интенсивных аномалий, кроме ранее известных — Тихо, Прокл, Коперник, Аристарх, Кеплер, упоминают кратеры Манилий и Менелай, которые, как это было отмечено ранее еще в работе [2], имеют аналогичные фотометрические особенности.

Следовательно, остается в силе предположение о том, что фотометрические и радиометрические особенности могут коррелировать между собой и быть обусловленными различием состояния плотности вещества.

Уже в первой работе, посвященной изучению особенностей микрорельефа отдельных участков лунной поверхности фотометрическим методом, было отмечено, что детали, у которых $\frac{\Delta B}{B_m} < 0$, — это в основном морские участки и темные донья некоторых кратеров, а детали с $\frac{\Delta B}{B_m} > 0$ — это преимущественно кратеры и материковые участки. Следовательно, можно полагать, что различие микрорельефа, выражаемое некоторыми фотометрическими параметрами, может быть связано со стратиграфией.

Для рассмотрения этого вопроса была использована фотогеологическая карта Луны А. Мейсона и Р. Хэкмана [6], согласно которой вещество, образующее лунную поверхность, условно относится к одному из трех относительных возрастов: I — «доморской», II — «морской», III — «послеморской» период. Мейсон и Хэкман считают, что «морские» породы — это, вероятно, лавовые потоки из толстых слоев базальта. Наиболее древними являются «доморские» породы, а самые «молодые» — это «послеморские» породы. Относительный возраст определялся «на основе наложения серий изверженных слоев и предполагаемых лавовых потоков и относительно свежего вида физических образований».

Что же показало сопоставление фотометрических параметров деталей с их стратиграфическим периодом? Это сопоставление приведено на рис. 13, 14, 15, где последовательно для «доморского» периода (I),

«морского» (II) и «послеморского» (III) показано положение деталей в системе координат $\frac{\Delta \bar{B}}{B_m}$ и $\Delta \theta$.

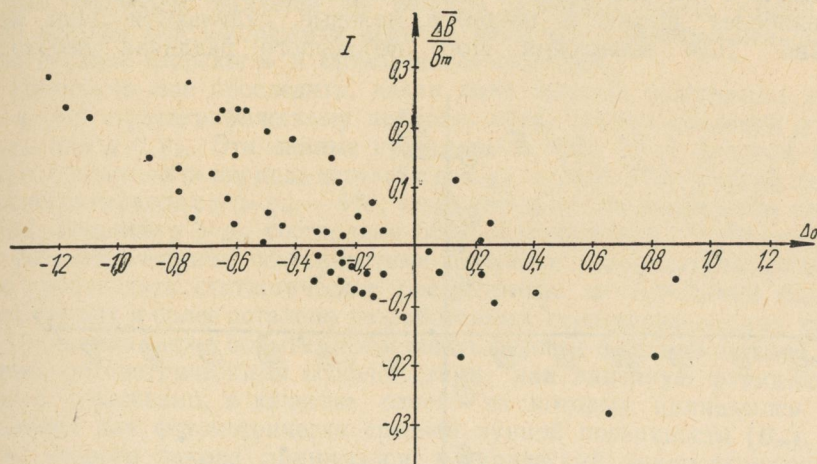


Рис. 13. Диаграмма: среднее относительное отклонение яркости — относительный градиент яркости вблизи полнолуния для деталей «доморского» периода

Как показывают графики, для «доморского» и особенно «послеморского» периодов детали располагаются преимущественно в области положительных значений среднего относительного отклонения яркости и отрицательных значений относительного градиента яркости вблизи полнолу-

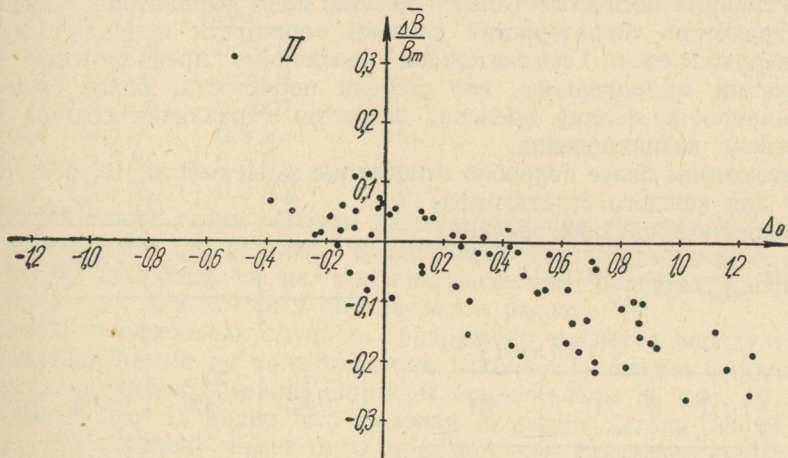


Рис. 14. Диаграмма : среднее относительное отклонение яркости — относительный градиент яркости вблизи полнолуния для деталей «морского» периода

ния. Наоборот, для деталей «морского» периода детали располагаются преимущественно в области отрицательных значений среднего относительного отклонения яркости и положительных значений относительного градиента яркости вблизи полнолуния. Таким образом, весьма определенно выявляется различие микрорельефа деталей различных стратиграфических периодов. Оказывается, что породы «доморского» и «послеморского» периодов отличаются от пород «морского» периода и

это отличие, согласно принятой качественной интерпретации свидетельствует о том, что «морские» породы обладают большей степенью пористости.

Вместе с тем оказывается, что «доморские» и «послеморские» породы, т. е. наиболее древние и наиболее молодые, отличаются лишь незначительно. Для выявления этого небольшого различия необходимы

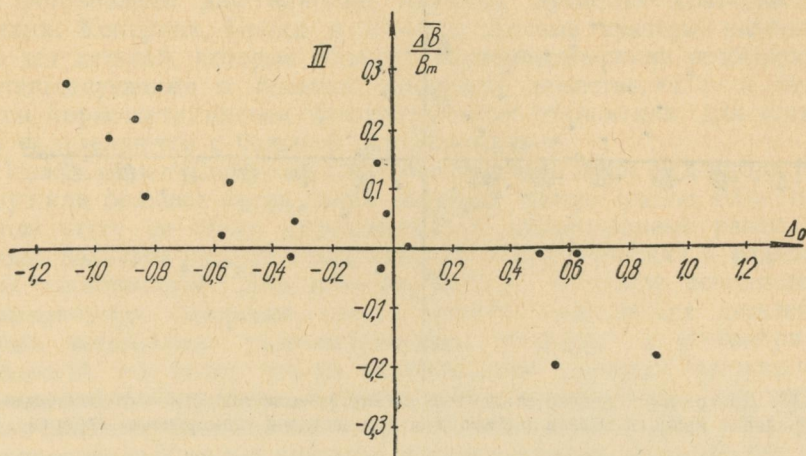


Рис. 15. Диаграмма: среднее относительное отклонение яркости — относительный градиент яркости для деталей «послеморского» периода

количественные подсчеты. Таким образом, явно выраженной зависимости фотометрических характеристик степени пористости пород от возраста не обнаруживается. Следовательно, необходимо предположить, что в образовании микрорельефа, его степени пористости, более существенным является не фактор времени, возраста, а различие состава пород и механизм возникновения.

Рассмотрим более подробно отмеченные зависимости. В табл. 3 приведены для каждого стратиграфического периода средние значения

величин $\frac{\Delta B}{B_m}$, Δ_0 , g и ρ_0 .

Таблица 3

	I	II	III
$\frac{\Delta B}{B_m}$	+ 0,037	— 0,043	+ 0,065
Δ_0	— 0,260	+ 0,326	— 0,240
g	0,80	0,53	0,97
ρ_0	0,138	0,097	0,132

Таблица 4

	$g > g_m$	$g \approx g_m$	$g < g_m$
I			
n	20	31	5
n/N_{st}	36%	55%	9%
II			
n	3	41	26
n/N_{st}	4%	59%	37%
III			
n	10	6	2
n/N_{st}	56%	33%	11%

Из табл. 3 видно, что по величине среднего значения среднего относительного отклонения яркости и среднего значения фактора упаковки «доморской» и «послеморской» периоды несколько различаются, что свидетельствует о несколько меньшей степени пористости более молодых

образований «послеморского» периода. Вместе с тем следует отметить, что значения среднего яркостного фактора для деталей «доморского» и «послеморского» периодов совпадают. В этом отношении, очевидно, более важным фактором является не возраст, а состав пород. Кроме того, число деталей «послеморского» периода невелико — заметно меньше, чем число деталей «морского» и «доморского» периодов.

Интересно еще проследить, какая доля деталей, отнесенных к тому или иному стратиграфическому периоду, имеет фактор упаковки $g \approx g_m$, $g > g_m$ или $g < g_m$. Эти данные приведены в табл. 4, из которой видно, что для «доморского» периода деталей с $g < g_m$ — лишь 9%, а среди деталей «морского» периода с $g > g_m$ — 4%, тогда как для «послеморского» периода детали, имеющие $g > g_m$ составляют 56%. Для уточнения соотношения между фотометрическими особенностями деталей и их стратиграфией необходимо производить статистическое рассмотрение на основании большего числа данных и более детально разработанных стратиграфических систем.

Проведена также попытка представить фазовые функции деталей, обладающих фотометрическими особенностями, как линейную функцию двух законов отражения, в качестве одного из которых принимался закон отражения для фотометрически средней лунной поверхности (B_m). В качестве второго закона принимался эмпирический закон отражения по индикаторным измерениям Н. С. Орловой [10] для некоторых магматических пород — гранита (B_r), базальта (B_b), вулканического шлака ($B_{ш}$), а также закона Ламберта (B_l).

Рассчитывались фазовые функции при различных предположениях о соотношении относительной яркости, вносимой тем или иным законом, для двух значений селенографической долготы: $\lambda = 30^\circ$ и $\lambda = 60^\circ$.

Принимались следующие синтетические законы отражения:

1. $B = 0,9 B_m + 0,1 B_l$.
2. $B = 0,75 B_m + 0,25 B_r$.
3. $B = 0,75 B_m + 0,25 B_l$.
4. $B = 0,75 B_m + 0,25 B_{ш}$.
5. $B = 0,5 B_m + 0,5 B_r$.
6. $B = 0,5 B_m + 0,5 B_b$.
7. $B = 0,5 B_m + 0,5 B_{ш}$.

Рассчитанные таким образом фазовые функции сравнивались с фазовыми функциями для деталей, обладающих фотометрическими особенностями и находящихся на селенографических долготах, достаточно близких к тем, для которых производился расчет.

Только в отдельных случаях обнаружено согласие между теоретически вычисленными по синтетическим законам фазовыми функциями и полученными из наблюдений. Примеры представлены на рис. 16, 17, 18.

Так, из рис. 16 видно, что фазовая функция детали № 19 (Берег рядом с Посидонием) может быть представлена синтетическим законом $B = 0,5 B_m + 0,5 B_m$. Это относится также и к детали № 27 (Посидоний).

Для детали № 66 наблюдаемая фазовая функция может быть представлена синтетическим законом $B = 0,9 B_m + 0,1 B_l$.

Для фазовых функций, рассчитанных для указанных синтетических законов, были вычислены параметры $\frac{\Delta B}{B_m}$ и Δ_0 . Полученные значения показали, что соотношение параметров не такое, как у деталей, обладающих фотометрическими особенностями: как правило, среднее относительное отклонение яркости имеет большее значение, а относительный градиент яркости вблизи полнолуния — заметно меньшее. Ни для одного из примененных видов синтетических законов не удалось получить смещение максимума яркости. Следует заключить, что использованные

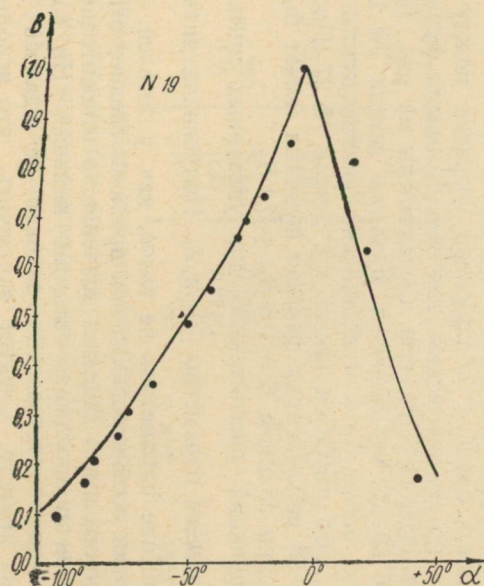


Рис. 16. Сопоставление фазовой функции детали № 19 с фазовой функцией, вычисленной по синтетическому закону $B = 0,5 B_m + 0,5 B_{ш}$ (сплошная линия).

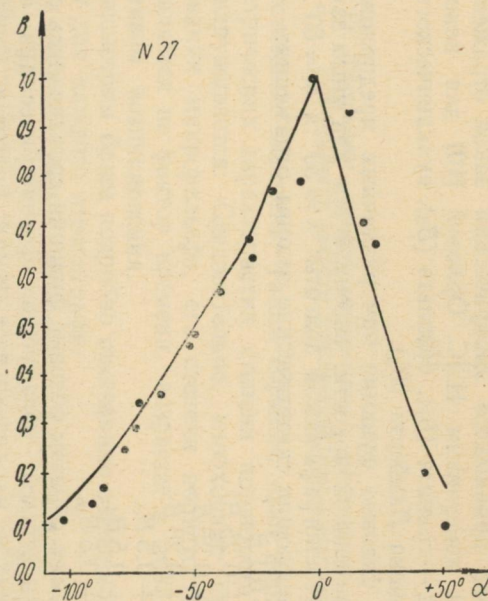


Рис. 17. Сопоставление фазовой функции детали № 27 с фазовой функцией, вычисленной для синтетического закона $B = 0,5 B_m + 0,5 B_{ш}$ (сплошная линия)

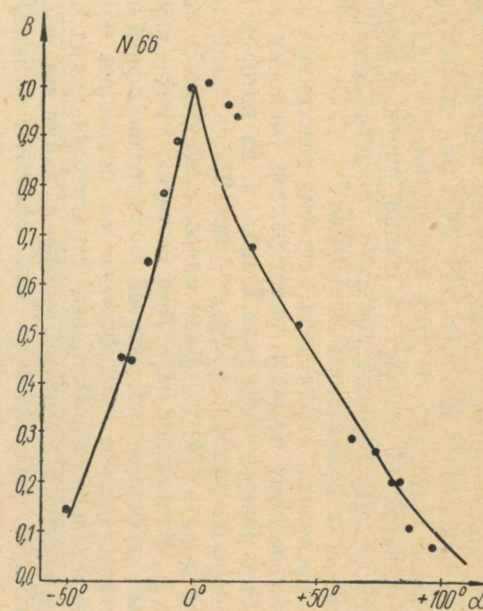


Рис. 18. Сопоставление фазовой функции детали № 66 с фазовой функцией, вычисленной для синтетического закона $B = 0,9 B_m + 0,1 B_{л}$ (сплошная линия)

виды синтетических законов, которые предполагают сочетание в пределах фотометрируемого участка обычного лунного вещества с горными породами типа гранита и базальта, не могут удовлетворительно представить фазовые функции деталей, обладающих фотометрическими особенностями. Это обстоятельство не исключает, однако, возможности наличия на лунной поверхности пород, существенно отличающихся по закону отражения.

Для дальнейшего уточнения и развития интерпретации фотометрических особенностей деталей лунной поверхности необходимо рассмотреть более сложные схемы, учитывающие влияние неровностей промежуточного порядка (δm , m), а также развивать теорию отражения света от пористых субстанций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Барабашов, В. И. Езерский, Н. П. Пришляк. Циркуляр Харьковск. обс., 1962, № 25.
2. Н. П. Барабашов, В. И. Езерский. Вестн. Харьковск. гос. ун-та, № 4 сер. астр., вып. I, 1965.
3. В. А. Федоренко. Труды Харьковск. обс., 2 (10), 1952.
4. В. А. Езерская, В. И. Езерский. Изв. план. ком. вып. 3, 1961.
5. В. Нарке. J. Geophys. Res., 68, 1963.
6. A. Mason, R. Hackman. Moon, Symp. 14, IAU, 1962, 301—315.
7. Н. П. Барабашов, О. И. Белоброва, В. А. Езерская, В. М. Езерский. Астр. ж., 43, 1966, № 5.
8. I. Saari, R. Shorthill. Icarus, 1963, № 3.
9. I. Saari, R. Shorthill. Sky and Tel., 1966, 31, № 6.
10. Н. С. Орлова. Уч. зап. ЛГУ, № 326. Труды астр. обс. 31, 1964.

Статья поступила 15 сентября 1966 г.