

К-14038
✓ П298058

ВЕСТНИК

ХАРЬКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА

№ 176

ФИЗИКА ЛУНЫ И ПЛАНЕТ.
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ АСТРОМЕТРИЯ
Выпуск 13

1 р. 10 к.

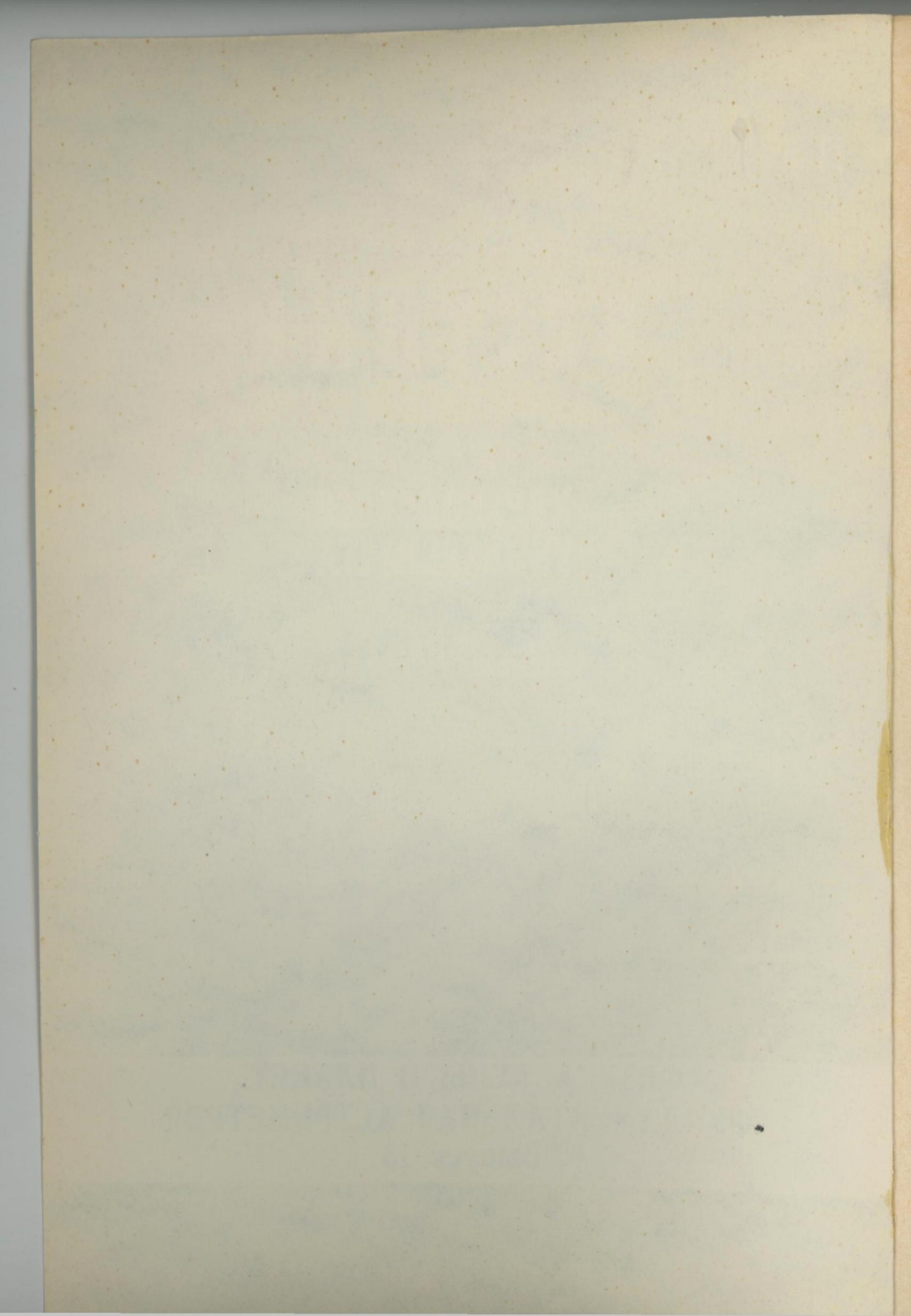


Вестн. Харьк. ун-та, 1978, № 176, 1—93+3.

V.N. Karazin Kharkiv National University



00249476 6



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ВЕСТНИК ХАРЬКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 176

ФИЗИКА ЛУНЫ И ПЛАНЕТ.
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ АСТРОМЕТРИЯ

ВЫПУСК 13

ХАРЬКОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ПРИ ХАРЬКОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «ВИЩА ШКОЛА»
1978

УДК 523.2/521.9

Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия, вып. 13. Вестн. Харьк. ун-та, № 176. Харьков, издательское объединение «Вища школа», 1978. 93+3 с.

Вестник посвящен фотографической и меридианной астрометрии, исследованию оптических характеристик Луны и облачных образований атмосферы Марса, а также вопросам когерентно-оптической обработки астрономических изображений. Содержится обзор по истории развития астрофизических исследований в Харьковском университете за 60 лет Советской власти.

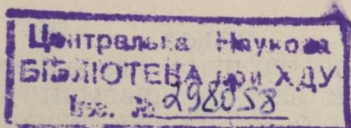
Предназначен для научных работников и специалистов.

Списки лит. в конце статей.

Редакционная коллегия: В. И. Езерский (отв. ред.)
К. Н. Кузьменко (отв. секр.), Ю. В. Александров, К. Н. Деркач, А. Т. Чекирда. Печатается по решению редакционной коллегии Астрономической обсерватории Харьковского госуниверситета от 21 ноября 1977 года.

Адрес редакционной коллегии: 310022, Харьков-22, ул. Сумская, 35. Астрономическая обсерватория Харьковского университета, тел. 43-24-28.

Редакция естественнонаучной литературы



УДК 52.1+52(091+092)

Ю. В. АЛЕКСАНДРОВ, канд. физ.-мат. наук

РАЗВИТИЕ АСТРОФИЗИКИ В ХАРЬКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ЗА 60 ЛЕТ СОВЕТСКОЙ ВЛАСТИ

За 60 лет, прошедших после Великой Октябрьской социалистической революции, советский народ построил общество развитого социализма, в котором наука стала могучим средством развития производительных сил страны и воспитания нового человека — строителя коммунизма. В формировании диалектико-материалистического мировоззрения, в становлении новой научной картины мира особо важная роль принадлежит астрофизике. Открытие качественно новых объектов во Вселенной, эволюционный подход к ее изучению, достижения в исследовании тел Солнечной системы в результате развития космонавтики вывели современную астрофизику на передовые рубежи в физике, а следовательно, и в естествознании в целом.

Развитие астрофизических исследований в Харьковском университете относится к советскому периоду его истории и связано с именем крупнейшего советского астронома академика В. Г. Фесенкова (1889—1972 гг.).

После окончания Харьковского университета и стажировки за границей В. Г. Фесенков с 1915 г. начал работать астрономом-наблюдателем на астрономической обсерватории нашего университета, его научные интересы сосредоточились в области фотометрического изучения Луны, планет и звезд. Результатом наблюдений Юпитера явилась одна из первых больших работ В. Г. Фесенкова «О природе Юпитера», опубликованная в 1917 г. Фотометрические наблюдения звезд, выполненные им в 1916—1919 гг., легли в основу «Фотометрического каталога 1155 звезд», изданного в 1926 году.

В. Г. Фесенков работал в Харькове до 1922 г., но и в последующем поддерживал тесные связи с харьковскими астрономами.

Талантливым астрофизиком-теоретиком был и другой воспитанник кафедры астрономии нашего университета — Б. П. Герасимович (1889—1937 гг.). Его перу принадлежит более 120 статей и монографий по различным проблемам физики звезд,

Солнца и звездной астрономии. Им выполнен ряд исследований в области внутреннего строения звезд и, в частности, в 1928 г. пионерская работа, посвященная проблеме источников звездной энергии, где этот вопрос рассматривался с точки зрения статистической механики. Он занимался проблемой поглощения света в космическом пространстве, исследовал физическую природу переменных звезд, прежде всего такого важного их класса, как цефеиды. С 1932 г. Б. П. Герасимович уехал из Харькова в Пулково, где полностью раскрылся его талант ученого-организатора. Там он стал заведующим отделом астрофизики, а с 1933 г. — директором Главной Астрономической обсерватории АН СССР.

В 1918 г. началась научная деятельность Н. П. Барабашова (1894—1971 гг.), впоследствии академика АН УССР, заслуженного деятеля науки УССР, Героя Социалистического Труда. Он окончил Харьковский университет в 1919 г. и с ним связана вся последующая научная и общественная деятельность ученого. С 1930 г. до последних дней своей жизни Н. П. Барабашов был директором Астрономической обсерватории ХГУ, а с 1934 г. — заведующим кафедрой астрономии.

В 1918 г. Н. П. Барабашов обнаружил, что в полнолуние участки лунных морей имеют одинаковую яркость, независимо от их положений на лунном диске. Эта особенность лунной поверхности, доказанная в 1923 г. А. В. Марковым для материковых областей Луны, получила название «эффект Барабашова». Теоретические исследования Н. П. Барабашова, посвященные отражению света поверхностями, покрытыми различного рода неровностями (сферическими, цилиндрическими и т. д.), показали, что этот эффект является следствием чрезвычайной изрытости, пористости лунной поверхности. В 1924 г. он выполнил обширные визуальные наблюдения Марса во время его великого противостояния. В 20-е годы ученым проведено ряд работ в различных областях астрофизики, к концу 20-х годов научные интересы Н. П. Барабашова сосредотачиваются в области исследования физических условий на Луне и планетах Солнечной системы. Он понял, что планеты, как достаточно яркие объекты, могут плодотворно изучаться с помощью сравнительно скромных наблюдательных средств университетской обсерватории. Познакомившись с трудами основоположника теоретической космонавтики К. Э. Циолковского, Н. П. Барабашов сумел предугадать, какое огромное значение приобретут данные о Луне и планетах в связи с предстоящим развитием практической космонавтики. В настоящее время сравнительное изучение Земли и других планет приобрело особо важное значение в связи со сложными экономическими проблемами, вставшими перед человечеством.

Н. П. Барабашов одним из первых применил к изучению планет метод фотографической фотометрии. Им была разработана методика калибровки фотографических изображений пла-

нет, предложен и применен способ «искусственной планеты» для оценки искажений, вносимых в распределение яркости по диску планеты оптикой телескопа и фотографическим процессом.

Первая работа по фотографической фотометрии планет «Фотографическая фотометрия Юпитера» опубликована Н. П. Барабашовым в 1931 году. В 1932 г. на Харьковской обсерватории впервые проведена фотографическая фотометрия Сатурна и его колец в трех светофильтрах. Эта работа продолжена в 1934—1938 годах. Систематически проводилось и фотометрическое изучение Юпитера. В 1932 г. впервые метод фотографической фотометрии со светофильтрами был применен для изучения и Венеры.

В результате проведения в 1933 г. фотографической фотометрии Марса через светофильтры установлено, что закон отражения света поверхностью Марса близок к закону Ламберта, а также сделаны оценки оптической толщины атмосферы Марса. Судя по ним, ход оптической толщины не удовлетворяет соотношению Рэлея, что свидетельствует о наличии аэрозолей в атмосфере Марса. В дальнейшем, в частности во время великого противостояния Марса в 1939 г., эти исследования были продолжены. Их результаты позволили установить наличие атмосферной и поверхностной составляющей его полярных шапок и сделать оценки атмосферного давления на Марсе.

В работах по фотометрическому изучению планет в 30-е годы принимали участие ученики Н. П. Барабашова: Б. Е. Семейкин, В. Д. Фурдыло, И. Ф. Тимошенко.

Важным этапом в развитии на АО ХГУ работ по физике Солнца следует считать создание в 1935 г. первого в СССР спектрогелиоскопа под руководством Н. П. Барабашова и ленинградского инженера-оптика Н. Г. Пономарева. С этого времени начались регулярные наблюдения процессов, происходящих в хромосфере и фотосфере Солнца. В исследованиях по физике Солнца принимали участие Н. Г. Пархоменко, Л. И. Крисенко, Л. И. Шингарев, И. М. Гордон. В 1936 г. в станции Белореченской Азово-Черноморского края на основании наблюдений полного солнечного затмения получен спектр в широкой спектральной области, включая ее ближнюю инфракрасную часть.

Дальнейшие исследования физики Луны, планет и Солнца прервала Великая Отечественная война. Инструменты обсерватории были демонтированы, многие ее сотрудники ушли на фронт.

В послевоенный период харьковская школа планетоведов, созданная еще в довоенные годы академиком Н. П. Барабашовым, продолжала занимать ведущие позиции в этой области астрономии. Особое внимание уделялось исследованию Луны. Применив предложенный Н. П. Барабашовым метод связи снимков Луны, полученных при разных фазах, В. А. Федорец создала фотометрический каталог деталей лунной поверхности, отличающийся как большим числом деталей (172), так и большим количеством

значений угла фазы. Работа В. А. Федорец является самой полной из всех, проводимых по фотометрии деталей лунной поверхности. И поэтому неслучайно многие авторы, в том числе и зарубежные, обращаются к этой работе, когда необходимо дополнить полученные ими данные или произвести проверку и анализ теории отражения света поверхностью Луны.

На АО ХГУ исследование физических свойств лунной поверхности не ограничивалось изучением только закона отражения света от нее. Большое внимание уделялось колориметрическим и поляриметрическим исследованиям. Колориметрические наблюдения проводились методами фотометрии со светофильтрами и спектрографическим. В 1954 г. В. А. Федорец и В. И. Езерским на АО ХГУ была выполнена первая работа по фотографической спектрофотометрии Луны. В 1950, 1952 и 1954 гг. Н. П. Барабашовым, А. Т. Чекирдой и И. К. Ковалем проводились также фотометрические исследования Марса. В частности, установлено значительное отличие отражения света морей Марса от материков — значительно меньшее потемнение к краю (фактор гладкости $\approx 0,5$). Наиболее обширные наблюдения Марса выполнены Н. П. Барабашовым и И. К. Ковалем во время великого противостояния Марса в 1956 году. Результаты наблюдений в виде каталога абсолютных значений яркости большого числа деталей Марса при различных фазах и его анализ изданы отдельной монографией. В дальнейшем результаты этих наблюдений неоднократно подвергались теоретической интерпретации.

Метод фотографической фотометрии и фотографической спектрофотометрии применялся и для изучения Венеры — планеты, о которой тогда имелось меньше всего достоверных данных. Н. П. Барабашов и В. И. Езерский, сопоставляя фазовые кривые Венеры в разных лучах, обнаружили фазовый ход показателя цвета Венеры. Ими же интерпретирована фазовая кривая блеска Венеры, определена индикатриса рассеяния света облачным слоем Венеры, что дало возможность оценить размеры частиц облачного слоя (2—3 $\mu\text{м}$). Обширные ряды наблюдений Венеры методом фотографической фотометрии со светофильтрами провел в 1951—1954 гг. В. И. Езерский.

Большая программа фотометрических наблюдений Юпитера, Сатурна и его колец выполнена в 1951—1954 гг. В. Н. Лебедецом. Он получил и проанализировал абсолютные распределения яркости вдоль светлых зон и темных полос Юпитера и Сатурна, причем для последнего это было сделано впервые.

О том, насколько успешно велись работы по изучению физических условий Луны и планет на Харьковской астрономической обсерватории свидетельствует тот факт, что Всесоюзная конференция по физике планет была созвана Астросоветом АН СССР 21—23 мая 1949 г. в г. Харькове. Конференция избрала комиссию по физике планет при Астросовете АН СССР под председательством академика АН УССР, директора Астрономической об-

серватории ХГУ Н. П. Барабашова. В Харькове с 1949 по 1969 г. прошло семь пленумов планетной комиссии при Астросовете АН СССР с участием ведущих астрономов нашей страны.

Новый этап исследований физических условий на Луне и планетах Солнечной системы начался после запуска в СССР 4 октября 1957 г. первого в мире искусственного спутника Земли, открывшего космическую эру в истории человечества. Для планирования космических экспериментов по изучению Луны и планет, создания соответствующих средств космической техники, особенно аппаратов мягкой посадки, понадобились данные о характеристиках поверхностного слоя Луны, о свойствах атмосфер и поверхностей планет. Астрономы смогли сочетать обширные ряды наземных наблюдений Луны и планет с уникальными результатами космических экспериментов. Возросшее прикладное значение планетных исследований привело к развитию новой организационной формы научной работы — выполнению научных исследований на хозяйственной основе. Это позволило Астрономической обсерватории и кафедре астрономии Харьковского госуниверситета расширить объем работ по лунно-планетной тематике. Начиная с середины 50-х годов харьковская школа планетоведов постоянно пополнялась наиболее способными выпускниками кафедры астрономии. В наблюдениях начала использоваться новая техника, прежде всего методы фотоэлектрической фотометрии.

Важнейшее значение для дальнейшего расширения и углубления работ по изучению Луны и планет на Харьковской астрономической обсерватории сыграло создание ее загородной Чугуевской наблюдательной станции в 70 км от Харькова. Там был установлен 70-сантиметровый телескоп АЗТ-8, специально предназначенный для планетных исследований, построен лабораторный корпус.

Особое внимание по-прежнему уделялось изучению Луны. Л. А. Акимовым выполнено фотометрическое исследование лунного диска с помощью сконструированного им электрофотометра при различных фазах и на различных селенографических широтах.

Для уточнения структуры лунной поверхности важное значение приобрели индикатометрические измерения различных образцов естественных и искусственных поверхностей, создание фотометрических аналогов лунной поверхности. Такие измерения начаты Н. П. Барабашовым и А. Т. Чекирдой, а затем продолжены и расширены Л. А. Акимовым и В. И. Гаражой. Результаты этих исследований позволили предположить, что поверхность Луны близка к вулканическим туфам, обломкам вулканических пород с острыми краями, что она фотометрически лучше всего соответствует пористому губкообразному слою с очень тонкими непрозрачными стенками. Выводы о структуре лунной поверхности, сделанные Н. П. Барабашовым и его сотрудниками

на основе наземных наблюдений, подтвердились в результате первых мягких посадок на Луну АМС «Луна-9» и «Луна-13». В 1969 г. Астрономический Совет АН СССР писал в своем приветствии академику АН УССР, Герою Социалистического Труда Н. П. Барабашову по случаю его 75-летия: «Вам дано было пережить величайшую для астронома радость: подтверждение космическими станциями Ваших выводов, сделанных у телескопа, о строении лунной поверхности...».

Исследованию оптических свойств Луны в ультрафиолетовой и ближней инфракрасной областях посвящены работы Н. Н. Евсюкова и В. С. Цветковой. В. С. Цветкова выполнила работу по изучению люминесценции лунной поверхности в линиях H и K, Ca. Ею сделан вывод о весьма малой ($\approx 1\%$) величине возможной люминесценции поверхности Луны, подтвердившейся впоследствии при лабораторном изучении образцов лунного грунта.

По мере изучения Луны космическими средствами все больше расширялось и участие харьковских астрономов в обработке и интерпретации результатов космических экспериментов. Н. П. Барабашов и его сотрудники участвовали в обработке снимков обратной стороны Луны, полученных АМС «Луна-3» и «Зонд-3». Результаты представлены в I и II томах «Атласа обратной стороны Луны», изданного АН СССР, одним из редакторов которого является Н. П. Барабашов. Исследовались панорамы лунной поверхности, переданные АМС «Луна-9» и «Луна-13». На специально созданном для этой цели индикатометре исследованы оптические свойства образцов лунного грунта, доставленного на Землю АМС «Луна-16, 20 и 24» (Н. П. Барабашов, В. И. Езерский, Л. А. Акимов, В. А. Псарев).

Под руководством Н. П. Барабашова начаты, а затем продолжены под руководством В. И. Езерского работы по детальному изучению оптических характеристик избранных районов лунной поверхности по данным наземных наблюдений и космических экспериментов. Проводилось сравнение распределения оптических характеристик лунной поверхности с ее геолого-морфологическими свойствами, в частности с геологическим возрастом поверхности.

В последнее время весьма актуальной стала задача распространения результатов детального изучения физико-химических свойств лунного грунта, полученных при изучении доставленных на Землю его образцов на другие районы Луны. В связи с этим возникла необходимость в картировании оптических характеристик лунной поверхности. На АО ХГУ Н. Н. Евсюковым составлено пять карт для видимого полушария Луны. На основе материала этих карт проведено районирование Луны по ее оптическим свойствам. Выявленные при этом закономерности интерпретированы путем сопоставления с результатами анализа химико-минералогического состава образцов лунного грунта, доставленных на Землю, и на этой основе предложена методика

дистанционного анализа химического состава лунной поверхности. Первые три из упомянутых карт Луны изданы и экспонировались на ВДНХ СССР.

Широкая программа наблюдений Марса осуществлена на АО ХГУ в 1971—1975 гг. Ю. В. Александровым, Д. Ф. Лупишко и Т. А. Лупишко. Во время великого противостояния 1971 г. впервые выполнена обширная серия одновременных фотографических и фотоэлектрических наблюдений Марса. В 1973 и 1975 годах проведены фотоэлектрические наблюдения интегрального блеска Марса. При интерпретации всех этих наблюдений особое внимание уделялось мощной пылевой буре, начавшейся на Марсе в сентябре 1971 года. Были определены оптические свойства пылевых частиц, их размер (≈ 10 мкм) и сделаны оценки общего количества пыли, поднятой в атмосферу. Подтвердились современные представления о пылевых бурях, как характерном явлении марсианской метеорологии во время великих и следующих за ними противостояний, когда ощутимо возрастает инсоляция поверхности Марса в силу значительного эксцентриситета его орбиты. Итоги этой большой работы подведены в монографии «Абсолютная фотометрия Марса в 1971, 1973 и 1975 годах».

Широко продолжались исследования Венеры методами фотографической фотометрии и спектрофотометрии. Начиная с 1964 г. Стародубцевой О. М. накоплен и обобщен большой наблюдательный материал по фотометрическим свойствам темных ультрафиолетовых облаков, видимых на диске Венеры, природа которых до сих пор не ясна. Детально изучен спектральный ход контраста этих образований и его временные вариации, выявлен также ряд тонких деталей в коротковолновой части спектра Венеры.

Анализу фотометрических свойств Юпитера посвящена работа Ю. В. Александрова. Сделана статистическая обработка большого наблюдательного материала, оценено количество содержащейся в нем информации и определены оптические параметры атмосферы Юпитера в рамках модели однородной оптически полубесконечной атмосферы. Исследование Юпитера продолжено М. Ф. Ходячих, который получил в 1964—1966 гг. большой ряд значений коэффициентов яркости различных образований на диске Юпитера, исследовал их временные вариации и на этой основе построил двухслойную модель атмосферы Юпитера. Им также обнаружено приливное воздействие *Io* на фотометрические и спектральные свойства атмосферы Юпитера и аналогичный эффект воздействия Титана на атмосферу Сатурна.

А. И. Грецким закончено исследование монохроматических фазовых кривых колец Сатурна. А. М. Грецкий предложил оригинальное объяснение обнаруженных им особенностей фазовой кривой колец Сатурна на основе таких явлений, возникающих

при рассеянии света на частицах, больших по сравнению с длиной волны, как gloria и радуга.

Важной особенностью планетных исследований на АО ХГУ, во многом обусловившей их успех, является тщательный анализ и учет всех возможных случайных и систематических ошибок наблюдений. В 1969 г. В. Н. Дудиновым выполнена теоретическая и экспериментальная работа, посвященная анализу влияния земной атмосферы на результаты поверхностной фотометрии планет, рассмотрена задача оптимальной постановки фотометрического эксперимента, изучены возможности повышения пространственного разрешения при наблюдениях планет. Эти исследования положили начало новому научному направлению — развитию методов обработки астрономических и космических изображений. Создана уникальная когерентно-оптическая установка, позволяющая получить квадрат преобразования Фурье изображений, проводить их линейную фильтрацию и корреляционный анализ. Разработаны алгоритмы обработки изображений с целью устранения различного рода помех и искажений исходного изображения, а также решения других специальных задач обработки изображений, в частности, повышения пространственного разрешения изображений планет. На этой установке выполнена обработка панорам Марса и Венеры, переданных АМС «Марс-5» и «Венера-9, 10». Недавно созданный отдел когерентно-оптических методов обработки информации сформировался как высококвалифицированный творческий научный коллектив.

С помощью когерентно-оптической установки начата совместно с САО АН СССР работа по применению метода пятенной интерферометрии к задаче определения звездных диаметров. Проведена обработка пятенных изображений звезд, полученных на крупнейшем в мире 6-метровом телескопе БТА, определен диаметр звезды α Boo.

Расширились исследования физических условий Солнца. С 1950 г. на спектрогелиоскопе наблюдения ведутся в линиях H_{α} и К, Са, в 1957—1958 гг. — по расширенной программе во время проведения Международного геофизического года. Харьковская служба Солнца в числе 30 международных станций ведет регулярные наблюдения за состоянием активности Солнца. В 1964—1965 гг. проводились наблюдения по программе «Год спокойного Солнца», в 1966 г. — по программе «Протонные вспышки». Результаты наблюдений отсылаются в Мировые центры данных и публикуются в отечественных и зарубежных изданиях.

В 1964 г. на Чугуевской наблюдательной станции АО ХГУ вступил в строй хромосферный телескоп АФР-2 с интерференционно-поляризационным фильтром для монохроматических наблюдений хромосферы Солнца в линии H_{α} . Он используется для наблюдений вспышек и других быстрых процессов на Солнце.

Результаты наблюдений хромосферных вспышек и других процессов на нем особенно важны в связи с проблемой прогнозирования солнечной активности. На основе проведенных наблюдений Солнца ряд интересных работ по физике флоккулов и хромосферных вспышек выполнен Л. И. Крисенко, В. А. Езерской, Н. П. Дятел, И. Л. Белкиной, Р. М. Чирковой, В. И. Быстрицким.

На обсерватории большое внимание уделяется организации экспедиций для наблюдений полных солнечных затмений: 25 февраля 1952 г. на ст. Чилии Джамбульской области в Казахстане, 30 июня 1954 г. в г. Кобеляки Полтавской области. Во время полного солнечного затмения 22 сентября 1968 г. экспедиция располагалась в Казахстане вблизи поселка Есиль Целиноградской области. Как и во время предыдущих затмений, получены фотографии короны на 5-метровом коронографе. Последующая обработка результатов этого затмения позволила получить интересные выводы о возможной связи излучения в гелиевых линиях с проникновением в хромосферу ионизирующего излучения из короны. Для уточнения этих выводов задача исследования гелиевых линий поставлена основной во время солнечного затмения 10 июля 1972 г., которое экспедиция ХАО наблюдала на косе Русская Кошка в Анадырском заливе Берингова моря. На основании результатов наблюдений затмений 1968 г. интересное исследование по физике коронарных конденсаций выполнено В. П. Васильевым, который принимал участие в экспедиции, будучи еще студентом кафедры астрономии ХГУ.

М. Ф. Ходячих проводил исследования распределения квазаров в пространстве и зависимости их энергетических характеристик от величины красного смещения z . Получены качественно новые результаты — выявлены периодические изменения блеска квазаров в зависимости от величины красного смещения по аргументу $\ln(1+z)$.

Естественно, что развитие научных исследований в области астрофизики шло в Харьковском университете в неразрывной связи с подготовкой высококвалифицированных кадров астрономов. Традиции в преподавании астрофизики в нашем университете восходят к В. Г. Фесенкову, который в 1917 г. прочитал в Харькове первый в русских университетах курс астрофизики. Выдающимся педагогом и воспитателем научной молодежи был Н. П. Барабашов. Его ученики работают во многих астрономических учреждениях нашей страны. Воспитанники кафедры астрономии ХГУ составили ядро образованного в начале 60-х годов отдела физики Луны и планет ГАО АН УССР, который в короткий срок превратился в один из ведущих в СССР центров планетных исследований.

Имена основателей харьковской школы астрофизики — В. Г. Фесенкова и Н. П. Барабашова — присвоены кратерам, открытым на поверхности Марса. Астрофизики Харьковского

университета — сотрудники астрофизических отделов АО ХГУ и преподаватели — астрофизики кафедры астрономии — ученики Н. П. Барабашова и пришедшая молодежь образуют в настоящее время творческий научный коллектив, который ясно сознает стоящие перед ним задачи по повышению эффективности научных исследований и подготовке высококвалифицированных кадров астрономов.

УДК 523.37

Ю. Г. ШКУРАТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛУНЫ

Взаимосвязь величин, характеризующих спектральную отражательную способность при некоторой фазе и степень поляризации света для многих тел солнечной системы, лишенных атмосферы, хорошо известна [1] и в наиболее общем виде выражается формулой $\log P(\lambda, \alpha) + \log B(\lambda, \alpha)/F(\alpha) = \varphi(\lambda, \alpha)$. (1) Здесь $B(\lambda, \alpha)$ — яркость детали для некоторого угла фазы α и некоторой длины волны λ ; $F(\alpha)$ — фотометрическая функция; $P(\lambda, \alpha)$ — степень поляризации. Значение функции $\varphi(\lambda, \alpha)$ не зависит от положения точки на диске Луны. Связь величин $P(\lambda, \alpha)$ и $B(\lambda, \alpha)/F(\alpha)$ является корреляционной, а формула (1) — уравнением регрессии. Характер зависимости этих величин сохраняется в диапазоне углов фазы $30^\circ \leq \alpha \leq 140^\circ$ при любых длинах волн в видимом участке спектра. Коэффициент корреляции достигает максимального значения при $\alpha \cong 95-110^\circ$, т. е. когда $P(\lambda, \alpha) = P_{\max}$. Отклонения от линии регрессии, задаваемой уравнением (1), как отмечал Дольфус [2], не связаны только с ошибками измерений и вызваны физическими эффектами, недостаточно изученными в настоящее время. В связи с этим важно получать любую дополнительную информацию о взаимосвязи альbedo, спектральных характеристик и степени поляризации, а также выяснить зависимости этих параметров от физических величин, характеризующих вещество поверхности небесного тела.

1. Возможный вклад поляризации света в относительный фазовый ход цвета $C = B(\lambda_1, \alpha_0)/B(\lambda_2, \alpha_0)$ нескольких деталей Луны изучал Маккорд [3], который использовал данные своих фотоэлектрических измерений и поляриметрических измерений Герелса. В частности, Маккорду удалось качественно объяснить поляризационными эффектами наличие слабой депрессии в ходе цвета с фазой на 30° для одной детали в Море Кризисов. Несмотря на то что Маккорд изучал фазовый ход цвета Луны очень уверенно, в настоящее время нет полного согласия в данных. Так, в работе [4] существование фазового хода цвета вообще не обнаружено. Поэтому очевидный интерес представляет собой исследование этого эффекта на образцах лунного

реголита, доставленного АМС серии «Луна» и КК «Apollo» [5—6]. Точность лабораторных измерений высокая, что позволяет уверенно изучать фазовый ход цвета. Представительность образцов, доставленных с поверхности Луны, по характеристике $\tilde{C}(\alpha)$ иллюстрировалась в работе [6]. Для получения фазовой зависимости цвета образцов лунного грунта, доставленного АМС «Луна-24», использовались данные специальных индикатометрических измерений, методика которых описана в работе [6]. Предварительные результаты обработки индикатрис, полученных в двух участках спектра ($\lambda_{эфф} = 0,66\mu$; $\lambda_{эфф} = 0,45\mu$) характеризующие фазовый ход колор-индекса для мелкой фракции частиц (размеры частиц $< 94\mu$), одной из базовых проб

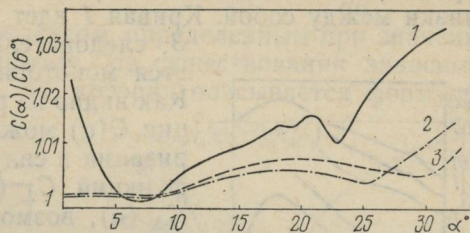


Рис. 1.

в колонке грунта представлены на рис. 1 (кривая 1). Изменение колор-индекса с фазой не носит монотонного характера. Наличие фазовой депрессии вблизи угла фазы 7—8° обсуждалось в работах [5—6]. Нас интересует общий рост колор-индекса с фазой после 9° и существование слабой депрессии вблизи 25°.

Вклад поляризации в фазовый ход показателя цвета легко определить из уравнения

$$C(\alpha) = C_{\perp}(\alpha) \frac{1 + P(\lambda_2, \alpha)}{1 + P(\lambda_1, \alpha)}, \quad (2)$$

$$\text{где } P(\lambda, \alpha) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{B_{\perp}(\lambda, \alpha) - B_{\parallel}(\lambda, \alpha)}{B_{\perp}(\lambda, \alpha) + B_{\parallel}(\lambda, \alpha)}; \quad C_{\perp}(\alpha) = \frac{B_{\perp}(\lambda_1, \alpha)}{B_{\perp}(\lambda_2, \alpha)};$$

$B_{\perp}(\lambda, \alpha)$, $B_{\parallel}(\lambda, \alpha)$ — величины, характеризующие отражательную способность площадки соответственно в перпендикулярном и параллельном направлениях плоскости визирования.

Первый сомножитель в правой части формулы (2) описывает вклад в фазовый ход цвета, не связанный с поляризацией. Вторым описывает чисто поляризационный эффект. Поскольку рост значений $P(\lambda, \alpha)$ в синей части спектра выражен сильнее, чем

в красной, функция $C(\alpha) = \frac{1 + P(\alpha_2, \alpha)}{1 + P(\alpha_1, \alpha)}$ является возрастающей вплоть до угла фазы, при котором $P(\lambda, \alpha) = P_{\max}$. При одинако-

вой нормировке функций $C(\alpha)$ и $\tilde{C}(\alpha)$, определенных по измерениям одной и той же детали, можно провести их сопоставление. Пользуясь результатами работы Дольфуса [1] для детали, расположенной в Море Кризисов, т. е. в той же области, где совершила посадку АМС «Луна-24», мы определили $P(\lambda_1, \alpha)$ и $P(\lambda_2, \alpha)$. Длины волн при вычислении функций $P(\lambda_1, \alpha)$

$P(\lambda_2, \alpha)$ близки к системе, в которой измерялись индикатрисы образцов реголита. Несовпадение соответствующих площадок для полук количественных оценок в расчет можно не принимать. Кривая 2 (рис. 1) представляет возможный вклад поляризации в фазовый ход цвета, вычисленный, как указывалось по данным Дольфюса. Кривая 3 иллюстрирует этот же эффект, определенный Маккордом [3] для другой детали в Море Кризисов по поляризметрическим данным Герелса. Как видно, кривые 2 и 3 близки между собой. Кривая 1 идет более круто, чем кривые 2,

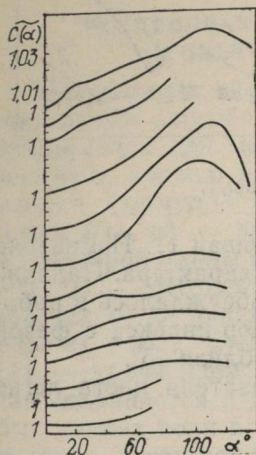


Рис. 2.

3; следовательно, функция $C_{\perp}(\alpha)$ является монотонно возрастающей функцией. Как видно из рисунка, до 30% хода функции $C(\alpha)$ можно объяснить вкладом поляризации в силу мультипликативной связи функций $C_{\perp}(\alpha)$ и $C(\alpha)$. Вид функций $C_{\perp}(\alpha)$, возможно, отчасти связан с эффектами рассеяния высших порядков. Действительно, отражательная способность лунных деталей увеличивается с ростом длины волны, поэтому вклад многократного рассеяния, увеличивающийся при возрастании угла фазы, будет существеннее именно в красной части спектра. Обращает внимание наличие нерегулярности фазового хода цвета при углах фазы вблизи 25—30° для кривых, рассчитанных по поляризационным данным, и кривой, описывающей образец реголита.

К сожалению, точность измерения функции $C(\alpha)$ индикатометрическим методом не превышает 1%, а поскольку величина описываемой фазовой депрессии также порядка 1%, не представляется возможным сделать уверенный вывод о реальности этой особенности. Это обстоятельство подтверждает-

ся вычислением функции $\tilde{C}(\alpha) = \frac{1+P(\alpha_2, \alpha)}{1+P(\alpha_1, \alpha)}$ для других деталей по данным Дольфюса (рис. 2). Действительно, на большинстве кривых, соответствующих 14 лунным площадкам различных морфологических типов, указанная депрессия отсутствует. Следует отметить также, что для углов фазы больше 90—100° наблюдается уменьшение вклада поляризации в фазовый ход цвета. Существование максимума на этих кривых, очевидно, соответствует положению максимума на фазовой кривой поляризации. Выраженный минимум на фазовой кривой образца вблизи 7—8° не может быть объяснен эффектами поляризации, хотя его положение близко к положению на оси значений углов фаз минимума отрицательной ветви поляризации. Для задач, в которых приходится производить редукцию спектральных характеристик к одному углу фазы, необходимо исследовать связь скорости

изменения цвета при различных углах фазы с другими оптическими характеристиками. В настоящее время отсутствуют надежные наблюдения фазовой зависимости спектральных характеристик, по которым можно было бы произвести соответствующие статистические исследования. Однако, как выяснено выше, вклад поляризации в фазовый ход цвета может быть велик.

Поэтому было решено исследовать связь величины $\frac{d\tilde{C}(\alpha)}{d\alpha}$ с нормальным альбедо и колор-индексом, определенным при значении угла фазы, близком к нулевому. Из существования зависимости величин $B(\lambda, \alpha)$ и $P(\lambda, \alpha)$, которая описывается формулой

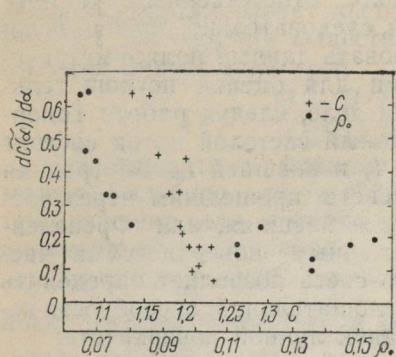


Рис. 3.

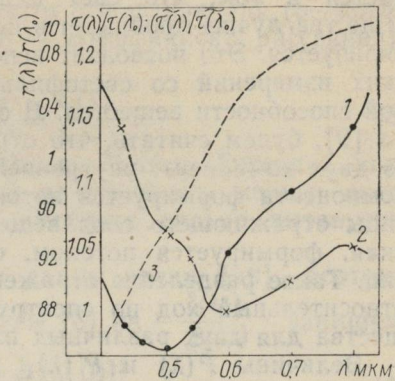


Рис. 4.

(1), следует, что такая связь должна существовать. Величины $\frac{d\tilde{C}}{d\alpha} \cong \frac{\Delta\tilde{C}(\alpha)}{\Delta\alpha}$ были определены графически (рис. 2) в интервале углов фазы 40—80° для каждой из 14 деталей. Для определения значений величины $B(\lambda=0,55 \mu; \alpha=0)$ мы воспользовались данными фотометрической карты [13]. Связь $\frac{d\tilde{C}(\alpha)}{d\alpha}$ и $B(\lambda=0,55 \mu; \alpha=0)$ представлена на рис. 3. Обнаруживается тесная зависимость величин $B(0,55 \mu; 0)$ и $\frac{d\tilde{C}(\alpha)}{d\alpha}$, причем при малых значениях $B(0,55 \mu; 0)$, т. е. для морских участков, $\frac{d\tilde{C}(\alpha)}{d\alpha}$ изменяется значительно. Материковые участки с высоким значением альбедо не обнаруживают такой зависимости. Аналогичным образом рассматривалась зависимость величины $\frac{d\tilde{C}(\alpha)}{d\alpha}$ от показателя цвета (рис. 3), который определялся по

карте цвета [14]. Корреляция между этими параметрами также существует и носит линейный характер, выраженный слабее, чем в предыдущем случае. Следует отметить, что, по-види-

мому, зависимость $\frac{dC(\alpha)}{d\alpha}$ от величины колор-индекса определяется ее связью с нормальным альбедо для данной выборки точек. В общем случае можно ожидать, что вклад других эффектов, влияющих на фазовый ход цвета, замост описанные выше корреляции.

II. Изменение $P_{\max}(\lambda, \alpha)$ с длиной волны для Луны объясняется эффектом Умова [8]. Как известно, этот эффект заключается в том, что свет длин волн, ответственных за цвет вещества, лучше проникает в него и, следовательно, больше деполаризуется. Это позволяет использовать данные поляризметрических измерений со светофильтрами для оценок поглощательной способности вещества. В самом деле, следуя работе Топорца [9], будем считать, что отраженный световой поток состоит из двух компонент: внутренней — I_i и внешней I_e . Внутренняя компонента формируется потоком света, прошедшим через частицы отражающего слоя вещества, а внешняя, или Френелевская, формируется потоком, отраженным поверхностями частиц. Такое разделение отраженного света позволяет определить относительный ход по спектру поглощательной способности вещества для двух различных площадок лунной поверхности.

Величины $P(\lambda)$ и $P'(\lambda)$, характеризующие максимальную степень поляризации двух площадок на Луне, определим следующим образом:

$$P = \frac{I_{\perp}^e - I_{\parallel}^e}{I}, \quad P' = \frac{I'_{\perp}^e - I'_{\parallel}^e}{I'},$$

где I, I' — суммарные потоки от изучаемых площадок, включая и внутреннюю компоненту. Вычислим отношения $\frac{P}{P'}$ и $\frac{1-P}{1-P'}$,

вводя обозначения $\frac{I_{\perp}^e - I_{\parallel}^e}{I_{\perp}^e - I_{\parallel}^e} = r$, $\frac{I'^i + 2I'_{\parallel}^i}{I^i + 2I_{\parallel}^e} = t$. При $\frac{I_{\parallel}^e}{I_{\perp}^e} \ll 1$,

что имеет место, когда $P = P_{\max}$, величина r является относительным коэффициентом отражения поверхностной компоненты. Поскольку $\frac{I_{\parallel}^e}{I^i} \ll 1$, коэффициент t совпадает с величиной, характеризующей относительную поглощательную способность вещества, т. е. $t \simeq \tau = \frac{I'^i}{I^i}$. Следовательно, в первом приближении

$$\tau(\lambda) = r(\lambda) \frac{P(\lambda)[1 - P'(\lambda)]}{P'(\lambda)[1 - P(\lambda)]}. \quad (3)$$

Информация о величине изменения $r(\lambda)$ в видимой части спектра отсутствует. Как будет показано ниже, существует принципиальная возможность изучать функцию $r=r(\lambda)$.

После деления обеих частей формулы (3) на $\tau(\lambda_0)$ получим

$$\frac{r(\lambda)}{r(\lambda_0)} = \frac{\tau(\lambda)}{\tau(\lambda_0)} \cdot \frac{P'(\lambda) [1 - P(\lambda)] P(\lambda_0) [1 - P'(\lambda_0)]}{P(\lambda) [1 - P'(\lambda)] P'(\lambda_0) [1 - P(\lambda_0)]}. \quad (4)$$

Отношение $\frac{\tau(\lambda)}{\tau(\lambda_0)}$ можно приближенно оценить по спектрофотометрическим данным из теории Кубелки—Мунка—Гуревича [10]. Функция Кубелки—Мунка—Гуревича $\frac{[1 - B(\lambda, 0)]^2}{2B(\lambda, 0)}$

хорошо аппроксимирует ход по спектру отношения σ/S (σ —коэффициент поглощения вещества, S — коэффициент рассеяния), что выражается формулой

$$\frac{[1 - B(\lambda, 0)]^2}{2B(\lambda, 0)} = \frac{\sigma(\lambda)}{S(\lambda)}. \quad (5)$$

Использовать в формуле Кубелки—Мунка—Гуревича нормальное альbedo как функцию от длины волны можно лишь приближенно для поверхностей, имеющих сильно вытянутую индикатрису рассеивания.

Параметр S слабо зависит от длины волны [10], поэтому после деления обеих частей формулы (5) на $\frac{\delta(\lambda_0)}{S(\lambda_0)}$ запишем

$$\frac{\sigma(\lambda)}{\sigma(\lambda_0)} = \frac{B(\lambda_0, 0) [1 - B(\lambda, 0)]^2}{B(\lambda, 0) [1 - B(\lambda_0, 0)]^2}. \quad (6)$$

Подстановка уравнения (6) в (4) позволяет определить функцию

$$\begin{aligned} \frac{r(\lambda)}{r(\lambda_0)} &= \frac{\tau(\lambda)}{\tau(\lambda_0)} \frac{\tau(\lambda_0)}{\tau(\lambda)}, \quad \text{где} \quad \frac{\tau(\lambda)}{\tau(\lambda_0)} = \frac{\sigma(\lambda)}{\sigma(\lambda_0)} \frac{\sigma'(\lambda_0)}{\sigma'(\lambda)} = \\ &= \frac{B(\lambda_0, 0) [1 - B(\lambda, 0)]^2 B'(\lambda, 0) [1 - B'(\lambda_0, 0)]^2}{B(\lambda, 0) [1 - B(\lambda_0, 0)]^2 B'(\lambda_0, 0) [1 - B'(\lambda, 0)]^2}, \\ \frac{\tau(\lambda_0)}{\tau(\lambda)} &= \frac{P(\lambda) [1 - P'(\lambda)] [1 - P(\lambda_0)] P'(\lambda_0)}{P'(\lambda) P(\lambda_0) [1 - P(\lambda)] [1 - P'(\lambda_0)]}. \end{aligned}$$

Для определения величин $\frac{\tau(\lambda)}{\tau(\lambda_0)}$ и $\frac{\tau(\lambda_0)}{\tau(\lambda)}$, выбрана пара лунных деталей, сильно отличающихся по оптическим и морфологическим характеристикам. Первая деталь находится в Море Кризисов, вторая — вблизи кратера Тихо. Для вычисления $\frac{\tau(\lambda)}{\tau(\lambda_0)}$ и $\frac{\tau(\lambda_0)}{\tau(\lambda)}$ мы воспользовались данными Маккорда [11] и Дольфюса для деталей, находящихся рядом с Маккордовскими, но не совпадающими с ними. Это приводит к тому, что дальнейшие рассуждения будут носить качественный характер.

Результаты вычислений функций $\frac{\tau(\lambda)}{\tau(\lambda_0)}, \frac{\tau(\lambda_0)}{\tau(\lambda)}, \frac{r(\lambda)}{r(\lambda_0)}$ представлены на рис. 4. Нештрихованные символы относятся к детали в Море Кризисов, а штрихованные — к кратеру Тихо. Кривая 2 (рис. 4) иллюстрирует известный факт: поглощательная способность морского вещества выше, чем у материкового. Для указанных двух деталей различия коэффициента поглощения могут достигать 20% в коротковолновой части спектра. Ход зеркальной компоненты лунной детали по спектру определяется законом дисперсии $n=n(\lambda)$ (n — действительная часть показателя преломления) вещества, составляющего самый верхний слой. По данным Хакке [12], показатель преломления морского вещества выше, чем у материкового. Кроме того, $\frac{dn(\lambda)}{d\lambda} > \frac{dn'(\lambda)}{d\lambda}$. Следовательно, в ходе по спектру поверхностной компоненты отраженного света морской деталью относительно материковой должно наблюдаться возрастание отражательной способности с увеличением длины волны, что качественно иллюстрирует кривая 3 (рис. 4).

Таким образом, задачи наземной дискретной фотометрии Луны отнюдь не исчерпаны, однако дальнейший прогресс в изучении тонких оптических эффектов в лунной поверхности возможен при существенном повышении точности измерений.

Автор благодарен старшему научному сотруднику ГЕОХИ АН СССР И. И. Антиповой-Каратаевой, ст. науч. сотр. АО ХГУ Л. А. Акимову и доц. В. И. Езерскому за интерес к работе и просмотр рукописи.

Список литературы: 1. Dollfus A., Bowell E. Polarimetric properties of the Lunar surface and its interpretation Part I. — *Telescopic Observations «Astron. Astrophys»*, 1971, vol. 10, N 1, p. 29—53. 2. Dollfus A., Titulaer C. Polarimetric Properties of the Lunar Surface and its interpretation Part III: Volcanic Samples in Several Wavelengths. — *«Astron. Astrophys»*, 1971, vol. 12, № 3, p. 199—209. 3. Mc Cord T. B. Time dependence of Lunar Differential Color. — *«The Astronomical Journal»*, 1969, vol. 74, N 2, p. 1445—1463. 4. Mikhail I. S. Color variations with phase of Selected regions of the Lunar surface. — *«The Moon»*, 1970, № 2, p. 167—201. 5. O'Zeary B., Briggs F. Optical Properties of the «Apollo-12». Moon Samples. — *«J. Geophys. Res.»*, 1973, vol. 78, № 5, p. 792—797. 6. Антипова-Каратаева И. М., Акимов Л. А., Езерский В. И. Сравнительное изучение фотометрической фазовой функции образцов реголита, доставленного АМС «Луна-16» и «Луна-20». — *Вестн. Харьк. ун-та*, № 137. «Физика Луны и планет. Вопросы астрономии», 1976, с. 3—8. 7. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., «Наука», 1970, 826 с. 8. Тейфель В. Г. — *Астроном. циркуляр*, 1959, vol. 205, № 7; *N. Univ. Phys. Z.*, 1905, vol. 674, № 6. 9. Топорев А. С. Об эффекте Умова. — *«Журн. эксп. и теорет. физики»*, 1950, т. 20, вып. 5, с. 1421—1436. 10. Марфуни А. С. Физические свойства минералов. М., «Недра», 1974, с. 328. 11. Mc. Cord T. B. Color difference on the Lunar Surface. — *«J. Geoph. Res.»*, 1969, vol. 74, № 12, p. 3131—3142. 12. A Far-ultraviolet photometer for planetary Surface analysis. — *«The Moon»*, 1976, vol. 15, p. 51—65. 13. Aut.: R. C. Henry, W. M. A. Fastic, R. L. Lucke et al. 13. Евсюков Н. Н. Фотометрическая карта видимого полушария Луны. Киев, «Наукова думка», 1973. 14. Евсюков Н. Н. Карта цвета видимого полушария Луны. Киев, «Наукова думка», 1973.

ОПЫТ СОСТАВЛЕНИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ ПРОТЯЖЕННЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ЭКВИДЕНСИТОМЕТРИИ

Существует несколько направлений, связанных с обработкой фотометрической информации протяженных астрономических объектов. Среди них отметим методы, применяющиеся для обработки фотографических изображений: электронно-аналоговый [1], фотографический [2, 3] и цифровой, использующий ЭЦВМ [4]. В частности, цифровой и электронно-аналоговый методы могут быть успешно применены для построения системы изолиний или выделения определенных интервалов яркости по фотографическому изображению протяженных объектов [1]. Эти методы, однако, требуют для своей реализации сложное и дорогостоящее оборудование, поэтому для составления яркостных схем и карт протяженных объектов можно применять значительно более простой метод фотографической эквиденситометрии [3, 5]. Этот метод по точности сравним с цифровым и электронно-аналоговым, так как точность последних, к сожалению, лимитируется ошибками исходного фотографического изображения (наличием микро- и макрошумов).

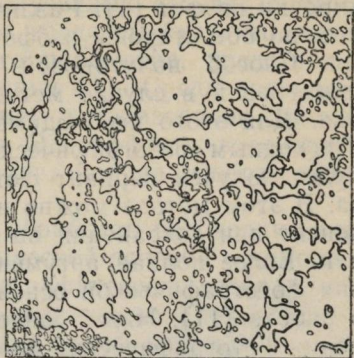


Рис. 1.

При составлении яркостных схем или фотографических карт яркости протяженных астрономических объектов (Луны, туманностей, фотосферы и хромосферы Солнца и т. д.) методом фотографической эквиденситометрии обычно поступают следующим образом. По фотографическому изображению объекта последовательно получают систему эквиденсит I, II, III и иногда IV ступеней. Среди эквиденсит III и IV ступеней отбирают необходимое количество, а затем перечерчивают их на недеформируемую основу с одновременной раскраской [6] либо производят фотографический монтаж необходимого числа эквиденсит [5, 7]. Оба метода обладают некоторыми недостатками. В первом случае при перечерчивании эквиденсит на недеформируемую основу неизбежна их структурная генерализация, в результате которой оператор может допустить субъективные ошибки. Кроме того, генерализация приводит к некоторой потере информации, что в случае малой информативности исходного материала недопустимо. В методе фотографического мон-

тажа эквиденсит этап перечерчивания их на недеформируемую основу отсутствует, однако, как отмечалось в работе [1], при использовании системы изофот протяженных объектов с достаточно сложной зависимостью яркости от координат возникает трудность, связанная с их отождествлением. Так, на рис. 1 приведены четыре изолинии нормального альbedo, полученные методом фотографической эквиденситометрии по изображению участка Луны, фаза которой была близка к нулевой. Из рисунка видно, что без дополнительной информации практически невозможно выяснить, какой изолинии соответствует то или иное значение нормального альbedo. В особенности это касается мелких островковых деталей. Указанная трудность в электронно-аналоговом методе преодолевалась с помощью полутоновой маркировки изофот [1]. Различие полутонов областей, расположенных по обе стороны изофот, делают их легко отождествляемыми. Способ полутоновой маркировки изофот может быть применен и в случае метода фотографической эквиденситометрии. Для этого необходимо произвести совмещение эквиденсит с исходным фотографическим изображением [8]. В результате будет получен вариант фотографической карты яркости объекта. В этом методе можно исключить этап перечерчивания эквиденсит при сохранении высокой надежности в их отождествлении. Более полная аргументация целесообразности использования фотографической основы при составлении карт содержится в работе [11]. Ниже более подробно опишем методику составления фотографических карт.

В зависимости от поставленных задач, для которых предполагается использовать данную фотографическую карту, можно представить на ней различное число интервалов картируемого параметра [9]. Следовательно, в случаях, когда число выделяемых градаций картируемого параметра должно быть малым, не представляется возможным использовать эквиденситы III и IV ступеней. Совмещение эквиденсит первой или второй ступени с фотографической основой для участков с малым градиентом яркости может привести к экранировке больших площадей исходного фотографического изображения, которое несет в себе дополнительную информацию. Эта трудность преодолима, если выделить границы широких эквиденсит и нанести их на фотографическое изображение вместо самой эквиденситы. Для этого на изображениях эквиденсит I или II ступени необходимо сильно поднять контраст последовательностью перепечаток на фотоматериале с большим коэффициентом контрастности, например на фотопластинках FU-5. Цель будет достигнута, когда на изображениях эквиденсит исчезнут полутона. Далее по каждому изображению эквиденситы, обработанному таким способом, получается эквиденсита I ступени. Поскольку она выделяется на изображении, которое не содержит полутонов, ее ширина формируется за счет переходной зоны, т. е. гра-

ницы между прозрачными и непрозрачными областями изображения. Переходная зона создается эффектом фотографической иррадиации. Для краткости назовем эквиденситу, формирующуюся только за счет переходной зоны, изоденсой. Полученные таким образом изоденсы имеют обычно ширину 50—200 мкм.

Имеется и другая возможность получения заданного числа изоденс на фотографическом изображении. Для этого необходимо провести предварительное контрастирование исходного фотографического изображения [7] до исчезновения полутонов с различным временем экспозиции при первой перепечатке, а затем получить набор изоденс описанным способом. После этого следует произвести монтаж полученных изоденс в необходимом количестве. В обоих случаях изоденсы будут выделять определенный интервал картируемого параметра, представляя с некоторой погрешностью его изолинии [1]. Среди специфичных для данного метода ошибок отметим образование узелков и неравномерность толщины изоденс. Эти эффекты в основном связаны с неполным устранением полутонов на изображениях эквиденсит малых ступеней.

После выполнения первого этапа обработки необходимо совместить систему изоденс с фотографической основой с помощью сложения под фотоувеличителем фотографического изображения объекта (позитива) с изображением, содержащим необходимое число изоденс (темные линии на светлом фоне). Точного совмещения добиваются, используя заранее нанесенные метки либо выраженные детали изображения. Затем сложенные изображения перепечатывают на подходящий фотослой и используют его как основной негатив для репродуцирования на фотобумагу.

Надежная маркировка изофот с помощью полутонов исходного фотографического изображения возможна благодаря хорошо известному свойству глаза различать более уверенно полутона, между которыми есть резкая граница, чем полутона с постепенным переходом. Для объектов с достаточно монотонным ходом яркости полутоновая маркировка позволяет производить надежное отождествление 5—7 изофот. Предельное число отождествимых изофот, естественно, зависит от динамического диапазона используемого фотоматериала и условий репродуцирования окончательного варианта карты. Метод полутоновой маркировки изофот, используемый для составления фотографических карт, можно считать разновидностью метода качественного фона, который давно применяется в картографии.

Глаз различает гораздо большее число цветовых градаций, нежели черно-белых, поэтому перед совмещением системы изоденс с фотографической основой можно проделать маркировку цветом плотности фотографического изображения. Подробная методика этой операции описана в книге [3]. В этом случае можно рассчитывать на достаточную надежность в отождествлении большого числа изофот даже на фотографическом изображе-

нии объекта со сложным ходом яркости. Цветовая маркировка изофот является трудоемкой операцией, хотя и имеет более широкие возможности, чем черно-белая. Возможности метода черно-белой, полутоновой маркировки могут быть расширены, если различные семейства изоденс на фотографическом изображении представить черными и белыми линиями. На рис. 2 приведено изображение системы из четырех изоденс, совмещенное с исходным фотографическим изображением. Теперь по различию полутонов и цвету изолиний можно



Рис. 2.

определить, какая изоденса соответствует тому или иному значению нормального альбеда. Белые изолинии целесообразно наносить на темные участки изображения, а черные — на светлые участки (рис. 2). Белые изолинии на фотографическом изображении можно получить при сложении фотоизображения этой системы изолиний (черные линии на светлом фоне) с негативом, полученным при перепечатке позитива. Последний совмещен с системой изолиний, которые предполагается представить черным цветом.

На последнем этапе производятся необходимые операции, связанные с калибровкой и стандартизацией фотографической карты. Это позволит системе изоденс с определенной погрешностью отождествить с системой изофот.

При решении некоторых задач фотографическое изображение протяженного астрономического объекта, на которое предполагается нанести изофотометрическую нагрузку, может использоваться не только для вспомогательных целей (т. е. маркировки изофот полутонами), а иметь и самостоятельное значение. Так, фотографические карты нормального альбеда видимого полушария Луны (типа представленной на рис. 2) позволяют производить количественные оценки этой характеристики, а также могут использоваться для геолого-морфологических сопоставлений [11]. Описанный метод может применяться в сочетании с методом Цвикки—Уитекера [10] для построения карт цвета протяженных объектов. Например, в работе [11] представлены раз-

личные варианты фотографических карт цвета участка поверхности Луны — Моря Дождей. Наличие колориметрической нагрузки на исходном изображении, а также на синтезированном методом Цвикки—Уитекера изображении позволило сделать в этой работе ряд интересных выводов об особенностях распределения колор-индекса по этому участку лунной поверхности.

Таким образом, фотографическая эквиденситометрия, очевидно, не исчерпала себя в возможностях широкого применения экспресс-анализа астрономических фотоизображений и, кроме того, ее методы получают дальнейшее развитие.

В заключении автор пользуется случаем поблагодарить доц. В. И. Езерского за интерес к работе и замечания при просмотре рукописи.

Список литературы: 1. Шабанов М. Ф. Цифровые и электронно-аналоговые методы изотометрической обработки астрономических фотографий. — «Астрон. журн.», 1975, т. 52, вып. 2, с. 404—414. 2. Сергеев Г. А., Янутш Д. А. Статистические методы исследования природных объектов. Л., Гидрометеониздат, 1973. 245 с. 3. Круг В., Вайде Г. Г. Применение научной фотографии. М., «Мир», 1975. 220 с. 4. Саркисян Р. А. Применение метода наложения снимков к галактике NGG5195. Сообщение Бюроканской обсерватории, вып. XLVI, 1975, с. 144—151. 5. Брейдо И. И., Чеботарева Т. П. Эквиденситометрический метод, основанный на эффекте Сабатье, и его применение к фотометрии туманностей и комет. «Изв. ГАО АН СССР», 1966, т. 24, вып. 4, № 180, с. 159—173. 6. Евсюков Н. Н. Методы составления карт оптических характеристик лунной поверхности. — «Астрон. вестн.», IX, № 1, 29, 1973, с. 87. 7. Брейдо И. И., Виленская Л. Д. О методе фотографической эквиденситометрии. — «Журн. прикладной и экспериментальной фотографии и кинематографии», 1971, № 3, с. 37—40. 8. Каргашов В. Ф., Тейфель В. Г., Усольцева Л. А. Опыт фотографической эквиденситометрии Луны и планет. — В кн.: Физика Луны и планет. М., 1972, с. 459—467. 9. Некоторые аспекты картирования оптических характеристик видимого полушария Луны. — «Изв. высш. учебн. заведений. Геодезия и аэрофотосъемка» (в печати). Авт.: В. И. Езерский, В. А. Псарев, Ю. С. Тюфлин и др. 10. Whitaker E. Lunar color boundaries and their relationship to topographic features: A preliminary survey. — «The Moon», 1972, vol. 4, p. 348—355. 11. Езерский В. И., Олифер Н. С., Шкуратов Ю. Г. Колориметрическая структура участков лунной поверхности. — Вестн. Харьк. ун-та, № 160. «Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия», 1977, с. 14—19.

УДК 523

Ю. В. АЛЕКСАНДРОВ, канд. физ.-мат. наук,
В. П. КУЛИЧКИН, В. М. ЛИТВИНОВ

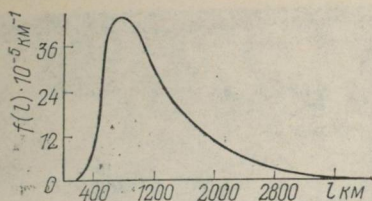
СТАТИСТИКА ОБЛАЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В МАРСИАНСКОЙ АТМОСФЕРЕ

Для понимания физической природы облачных образований на Марсе необходимо знать их оптические и статистические характеристики, которые могут быть использованы и при решении ряда задач космонавтики. В настоящей работе исследовались частота и вероятность появления облаков над видимой полусферой Марса.

По обширной серии визуальных наблюдений Марса, выполненных Миямото в 1958—1971 гг. [1—7], построена гистограмма распределения частоты встречаемости облаков на освещенной полусфере планеты по размерам. Наблюдения проводились каждую ясную ночь и охватывали период от 8 до 17 месяцев в зависимости от условий видимости Марса в данное противостояние. До 1967 г. для наблюдений использовали 30-см рефрактор, а с 1969 г. — 45-см рефрактор. Всего за эти годы отмечено более 1500 случаев появления облачных образований. Подавля-

ющее большинство из них являлись синими и белыми облаками.

Полученная из этой гистограммы сглаженная кривая при соответствующей нормировке будет представлять собой плотность вероятности обнаружения над полусферой облака данного размера (рисунок). Условие нормировки выбирали из следующих соображений. Во время фотографических наблюдений Марса, вы-



Плотность вероятности обнаружения на полусфере Марса облака размером L .

полненных на АО ХГУ Д. Ф. Лупишко в 1971 г. [8], облака встречались вблизи противостояния примерно каждую третью ночь. Анализ наблюдений Миямото [1—7] дает следующее соотношение общего числа наблюдений и числа наблюдений, в которые были замечены облака и другие атмосферные образования (типа утренних и вечерних туманов).

Противостояние	Период наблюдений	Всего наблюдений	Из них наблюдались облака
1958—1959	24.7.58—3.3.59	120	46
1960—1961	23.5.60—20.6.61	296	118
1962—1963	3.5.62—1.8.63	317	130
1964—1965	24.7.64—19.8.65	272	140
1967	1.10.66—17.8.67	166	52
1969	30.11.68—30.1.70	326	108
1971	30.12.70—16.9.71	320	63

В противостояние 1971 г. взят период до начала глобальной пылевой бури. По результатам наблюдений Марса в Гамбургской обсерватории в течение противостояний 1948, 1958, 1960—1961, 1963 и 1965 гг. облака имели место 124 раза [9, 10], в том числе в 1960—1961 гг. — 11 раз за 29 наблюдательных ночей.

Результаты такого рода исследований существенно зависят от ряда обстоятельств — характеристик используемого телескопа, квалификации наблюдателя, астроклимата в месте наблюдения, условий наблюдений Марса в разные противостояния. Тем не менее приведенные данные позволяют сделать вывод, что облака

наблюдаются в среднем каждое третье наблюдение. Учитывая, что с Земли не видимы малоплотные облачные образования и облака, размеры которых лежат на пределе и за пределом разрешения телескопов, можно принять вероятность появления облака над полусферой планеты равной $P_{\perp} \sim 0,5$. Таким образом, площадь под кривой, описывающей распределение облаков по размерам, равная вероятности обнаружить на полусфере облако любого размера, должна составить 0,5.

Чаще всего на Марсе наблюдаются облачные образования с характерным размером 600—1000 км, а размером более 4000 км практически не встречаются (рисунок). Ограниченная и меняющаяся от наблюдения к наблюдению разрешающая способность наземных телескопов приводит к занижению количества облаков размером меньше 500 км. В результате левая ветвь нашей кривой проходит ниже реальной. В силу условия нормировки полученные плотности вероятности для облаков больших размеров являются несколько завышенными.

Для оценки вероятности появления облака над данной точкой планеты предположим равновероятным появление облака над любой ее точкой. Тогда плотность вероятности того, что облако размером l будет наблюдаться над данной точкой полусферы $F(l)$, пропорциональна площади облака и равна

$$F(l) = f(l) S_{\text{обл}} / S_{\perp}, \quad (1)$$

где $f(l)$ — плотность вероятности обнаружения над полусферой облака размером l (рисунок); $S_{\text{обл}}$ — площадь облака; $S_{\perp}$ — площадь полусферы. Если считать, что облако имеет форму сферического сегмента, то

$$S_{\text{обл}} / S_{\perp} = 1 - \cos l / 2R, \quad (2)$$

где R — радиус планеты. Подставляя выражение (2) в (1) и интегрируя по всем l , получаем искомую вероятность

$$P(0, \infty) = \int_0^{\infty} f(l) (1 - \cos l / 2R) dl. \quad (3)$$

Таким образом, вероятность обнаружить над данной точкой полусферы облако любого размера равна $\approx 1\%$.

Следует отметить, что белые и голубые облака наблюдаются преимущественно вблизи утреннего и вечернего терминаторов, а также в районе полярных шапок. В работах [11, 12] отмечаются сезонные вариации числа облаков в марсианской атмосфере. Распределение числа облаков по гелиоцентрическим долготам имеет два максимума: при гелиоцентрической долготе $\eta = 275^\circ$ и в случае $\eta = 25^\circ$. По данным Джиффорда [13], белые облака обнаруживают тенденцию появляться в умеренных широтах Марса. Наконец, количество облаков может значительно меняться год от года. Поэтому вероятность появления облака над различными точками планеты может быть в несколько раз выше или ниже полученного среднего значения.

Список литературы: 1. Miyamoto S. — «Contribs Inst. Astrophys. and Kwasan Observ. Univ. Kyoto», 1960, № 87—89, p. 1—27. 2. Miyamoto S. — «Contribs Inst. Astrophys. and Kwasan Observ. Univ. Kyoto», 1961, № 105—106, p. 1—66. 3. Miyamoto S. — «Contribs Inst. Astrophys. and Kwasan Observ. Univ. Kyoto», 1963, № 124—125, p. 1—80. 4. Miyamoto S. — «Contribs Inst. Astrophys. and Kwasan Observ. Univ. Kyoto», 1965, № 141, p. 1—60. 5. Miyamoto S. — «Contribs Inst. Astrophys. and Kwasan Observ. Univ. Kyoto», 1968, № 169, p. 1—35. 6. Miyamoto S. — «Contribs Inst. Astrophys. and Kwasan Observ. Univ. Kyoto», 1970, № 184, p. 1—63. 7. Miyamoto S. — «Contribs Inst. Astrophys. and Kwasan Observ. Univ. Kyoto», 1972, № 206—207, p. 1—72. 8. Лупиншко Д. Ф. Дис. на соиск. учен. степени канд. физ.-мат. наук. Харьков, 1974, с. 280. 9. Schlosser W. — «Astron Nachr.», 1971, vol. 292, № 5—6, p. 205—206. 10. Sander W. — «Sterne», 1961, vol. 37, № 9—10. 11. Wells R. A. — «Moon and Planets», Amsterdam, 1967, p. 262—273. 12. Wells R. A. — «Astrophys. J.», 1967, vol. 147, № 3, p. 1181—1183. 13. Gifford F. A. — «Monthly Weather Rev.», 1964, vol. 92, № 10, p. 435—440.

УДК 523.3

Д. И. ШЕСТОПАЛОВ

О ХАРАКТЕРЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦВЕТА В ОБЛАСТИ СПЕКТРА 0,62—0,95 мкм ПО ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Изучение особенностей распределения цвета по лунной поверхности выполнено по данным колориметрической карты в диапазоне спектра 0,62—0,95 мкм. Карта колор-индексов $C = \rho(0,95 \text{ мкм}) / \rho(0,62 \text{ мкм})$ построена автором и Н. Н. Евсюковым по результатам спектрозональной фотосъемки Луны в указанных длинах волн на телескопе АЗТ-8 АО ХГУ. Угол фазы в момент наблюдений составлял $+4,2^\circ$. Фотографическая суперпозиция восьми независимых цветоделительных изображений, полученных методом Уитеккера [1], позволила довести разрешение по оптической характеристике для областей размером $0,5R$ (до 1,5% (коэффициент доверительной вероятности 0,90)). Для области вблизи лимба ($1—2'$) точность измерений в 2—3 раза ниже. Фотометрия синтезированного изображения осуществлена методом фотографической эквиденситометрии. Ошибка при калибровке изолиний варьирует в пределах 0,2—0,9% и не влияет на разрешение по оптической характеристике. Ошибка стандартизации по данным спектрофотометрических измерений [2] — 3%, не обнаружено каких-либо искажений фотометрической шкалы карты. Угловое разрешение карты составляет $3''$. На полном промежутке изменения цвета по лунному диску в 32% выделено 20 градаций. В настоящей работе использована половина изолиний (интервал 3%). Гистограммы цвета получены следующим образом.

Лунный диск по видимой границе море—материк разделен на морскую и материковую поверхности, которые в свою очередь представлены 12 морями и пятью участками материка.

Относительная площадь, занятая одинаковым колор-индексом в каждом регионе (а также для всей морской и материковой поверхности и для всего диска) рассчитана на интервал цвета 0,01. Приведенные средние кривые распределения цвета соответствуют проекции видимого полушария Луны на плоскость, пересчет площадей, занятых данным колор-индексом на полусферу, не производился.

Среднее значение цветности территории каждого района рассчитано по формуле

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{C}_i \Delta C_i \Delta S_i}{\sum_{i=1}^n \Delta C_i \Delta S_i},$$

где $\bar{C}_i$ — среднее значение цвета в интервале ΔC_i ; ΔS_i — площадь поверхности, занятая этим интервалом.

Кривая 1 распределения цвета по лунному диску (рис. 1) имеет два ярко выраженных максимума ($C_{\max_1}=1,28$ и $C_{\max_2}=1,42$), которые соответствуют морскому и материковому типам поверхности (рис. 1, кривые 2, 3).

Наличие нескольких максимумов на кривой распределения альбеда по лунному диску [3], отвечающих веществу с низким альбеда (в основном моря) и веществу с высоким альбеда (материк), может обуславливать наиболее общую для всего видимого полушария Луны закономерность «ярче — краснее». Подобного рода тенденция не обнаружена для распределения цвета по лунному диску в коротковолновой области спектра [4]. Средний колор-индекс лунной поверхности $\bar{C}_d=1,32$.

Распределение цвета в лунных морях. Кривая распределения цвета для всей морской поверхности асимметрична относительно основного максимума на $C_{\max}=1,28$ и обнаруживает широкое крыло в области высоких значений колор-индексов (рис. 1, кривая 1). Если

вещество с типичным колор-индексом 1,28 занимает почти четверть площади всех морей, то на остальную долю площади приходится практически весь интервал изменения цвета по Луне. Средний колор-индекс морской поверхности $\bar{C}_m=1,29$. Только у моря Дождей и моря Влажности средняя цветность ниже приведенного значения, составляя соответственно

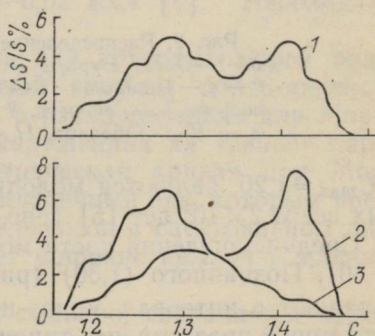


Рис. 1. Распределение цвета по лунному диску (1), по всей морской поверхности (2), по всей материковой поверхности (3).

1,26 и 1,27. Оба моря имеют похожие распределения цвета (одно-модальные, симметричные), максимумы которых несколько смещены в «синюю» область относительно характерного максимума для морской поверхности (рис. 2, а). Самым «синим» цветом на лунном полушарии выделяется Океан Бурь ($\bar{C}=1,24$). Его центральные и западные районы, занятые типичным цветом

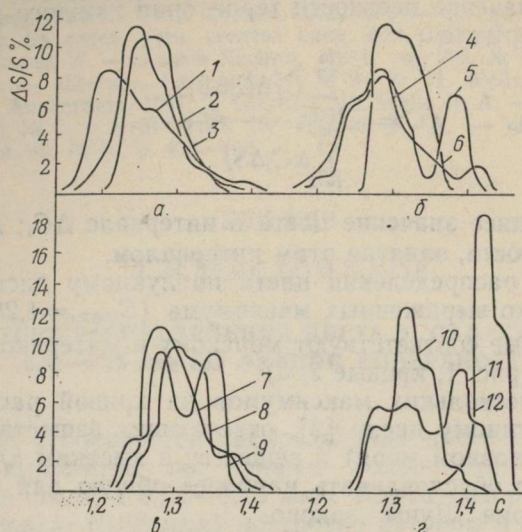


Рис. 2. Распределение цвета в лунных морях:
а—1—Океан Бурь, 2 — Дождей, 3 — Влажности;
б—4—Изобилия, 5 — Спокойствия, 6 — Познанное;
в—7 — Ясности, 8 — Паров, 9 — Кризисов;
г—10 — Облаков, 11 — Холода, 12 — Нектара.

с $C_{\text{max}}=1,20$, являются молодыми образованиями, возраст которых всего 2×10^9 лет [5] (рис. 2, а).

Средние значения цвета морей Изобилия (1,28), Спокойствия (1,30), Познанного (1,30) (рис. 2, б), Ясности (1,31) (рис. 2, в) попадают в интервал колор-индексов $\bar{C}_m < \bar{C} < \bar{C}_d$. Поверхность этих морей представляет типичный морской тип поверхности. Эти моря значительно «синее» окружающего их материка, вследствие чего проявляется граница море — материк. (Это же утверждение справедливо и для морских образований со средним колор-индексом меньше 1,29). Для распределений цвета в морях Изобилия, Спокойствия, Паров (рис. 2, б, в) характерно наличие второго максимума в области высоких значений колор-индекса, при этом его местоположение варьирует в пределах 1,36—1,42. Первые максимумы этих распределений, а также максимумы одномодальных распределений Морей Познанного, Ясности и Кризисов (рис. 2, б, в) расположены вблизи $C=1,30$ и практически совпа-

дают с главным максимумом на кривой цвета для морской поверхности (рис. 1, а). Моря Облаков ($\bar{C}=1,32$), Холода ($\bar{C}=1,34$), Нектара ($\bar{C}=1,42$) — «красные» (рис. 2, з). Как видно, средние колор-индексы поверхности этих морей выше, чем средняя цветность лунного диска ($\bar{C}_d=1,32$). Из них только Море Холода имеет на кривой цвета два ярко выраженных максимума, центрированных на значениях $C_{\max 1}=1,31$, $C_{\max 2}=1,39$. Самым «красным» морским образованием на видимом полушарии Луны является Море Нектара, распределение цвета которого имеет вид симметричной кривой с мощным максимумом при $C_{\max}=1,42$. Высокое среднее значение цвета материала, формирующего поверхность этих морей, обуславливает незначительный контраст относительно прилегающего материка и граница море — материк для этих районов практически не проявляется.

Круговые моря (Дождей, Ясности, Влажности, Кризисов) отличаются одномодальным распределением. Колориметрическая структура их обладает симметрией относительно видимой границы море — материк: центральные области — самые «синие», имеет место систематическое покраснение в радиальных направлениях центр моря — материк. Можно предположить, что механизм этого явления связан с процессами взаимодействия вещества морской поверхности и прилегающих материковых областей.

Представляет интерес качественное сравнение вида приведенных колориметрических распределений и полученных по карте цвета в области спектра 0,38—0,62 мкм [6]. Необходимо отметить два обстоятельства.

1. Кривые распределения цвета для круговых морей видоизменяются при переходе от одной системы колор-индексов к другой. Исчезает бимодальность в распределениях для Морей Влажности, Дождей, Ясности, обнаруженная на «синей» карте цвета. Симметризуется колориметрическая кривая для Моря Нектара. И, напротив, четкий, симметричный пик, которым представлена кривая цвета для моря Кризисов в спектральном диапазоне 0,38—0,62 мкм, приобретает широкие крылья в длинноволновой области спектра.

2. В неправильных морях, как правило, сохраняется общий вид кривых, однако местоположение максимумов друг относительно друга и их величина меняются произвольным образом.

Распределение цвета на материке. Общая кривая распределения цвета на материковых областях представлена на рис. 1, в. Особенности кривой следующие.

Основной максимум при $C_{\max}=1,43$ характерен для вещества, занимающего значительную долю морской поверхности ($\approx 40\%$). Возможно наличие второго слабо выраженного максимума в интервале колор-индексов 1,28—1,34. Материк так же, как и морская поверхность, представлен полным интервалом

изменения цвета. Средний показатель цвета материковых областей $\bar{C}_{\text{мк}} = 1,36$.

Протяженное крыло в область низких значений колор-индексов с первым максимумом на $C_{\text{max}_1} = 1,20$ на кривой цвета для Северного материка (рис. 3, а) объясняется наличием в высоких широтах обширных областей, занятых веществом по своим колориметрическим характеристикам, сравнимым с морским типом поверхности. Широкий максимум в интервале 1,28—1,34

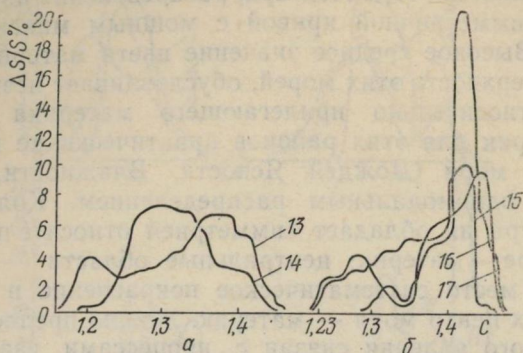


Рис. 3. Распределение цвета на лунном материке:
а—13 — Северный, 14 — Западный, б—15 —
Центральный, 16 — Южный, 17 — Восточный.

имеет колориметрическая кривая для Западного материкового участка (рис. 3, а), что обусловлено отсутствием их границы в цвете между поверхностью материка и западными районами Океана Бурь. Средний колор-индекс указанных поверхностей лежит в интервале $\bar{C}_д < \bar{C} < \bar{C}_{\text{мк}}$. Сравнивая кривые распределения цвета, можно утверждать, что главный максимум на колориметрической кривой для всего лунного материка формируют цветовые провинции, занимающие основную долю площади на Центральном, Южном и Восточном участках (рис. 3, б). По величине средней цветности (соответственно 1,36; 1,38; 1,41) эти поверхности можно отнести к «красным» материковым образованиям $\bar{C} > \bar{C}_{\text{мк}}$. Как интересную особенность распределения для Южного материка отметим первый максимум при $C_{\text{max}_1} = 1,28$, образованный «синими» выбросами в северо-западных областях лучевой системы Тихо.

Таким образом, приведенные характерные особенности распределения цвета в морских и материковых областях лунного диска позволяют достаточно объективно утверждать, что по данным колориметрической карты в спектральном интервале 0,95—0,62 мкм для лунной поверхности характерна большая неоднородность, чем простое деление море—материк согласно рис. 1, а. При этом выделяются четыре основных типа поверх-

ности. Наличие поверхности того или иного типа иллюстрирует вид колориметрической кривой данной области.

I. $\bar{C} < \bar{C}_m = 1,29$. «Синий морской тип» представлен поверхностью морей Влажности и Дождей. Сильная асимметрия кривой в случае Океана Бурь свидетельствует еще и о наличии II типа поверхности.

II. $\bar{C}_m < \bar{C} < \bar{C}_d = 1,32$, «Нейтральный морской тип» представлен поверхностью круговых морей (Ясности, Кризисов). Вторичные максимумы, характерные для неправильных морей (Изобилия, Спокойствия, Паров), указывают на присутствие в этих морях других типов поверхности.

III. $\bar{C}_d < \bar{C} < \bar{C}_{mk} = 1,36$. «Нейтральный материковый тип». Этим типом в основном заняты поверхности Северного и Западного материка. Таким же колор-индексом обладают поверхности морей Облаков и Холода.

IV. $\bar{C} < \bar{C}_{mk}$. «Красный материковый тип». Поверхности Центрального, Южного и Восточного частей материка представлены этим типом. По своему колор-индексу практически вся поверхность моря Нектара относится к этому типу.

Таблица составлена согласно изложенной классификации ($C_d = 1,32$; $C_m = 1,29$; $C_{mk} = 1,36$).

Тип лунной поверхности	Море	$\bar{C}$	$\bar{C}_{max_1}$	C_{min}	C_{max_2}
I	1. Океан Бурь	1,24	1,20	—	—
	2. Дождей	1,26	1,24	—	—
	3. Влажности	1,27	1,26	—	—
II	4. Изобилия	1,29	1,28	1,38	1,42
	5. Спокойствия	1,30	1,28	1,35	1,38
	6. Познанное	1,30	1,29	—	—
	7. Ясности	1,31	1,28	—	—
	8. Паров	1,31	1,28	1,32	1,36
	9. Кризисов	1,31	1,30	—	—
III	10. Облаков	1,32	1,31	—	—
	11. Холода	1,34	1,31	1,36	1,39
IV	12. Нектара	1,42	1,42	—	—
	13. Северный	1,33	1,20	1,24	1,36
	14. Западный	1,33	1,30	—	—
	15. Центральный	1,37	1,42	—	—
	16. Южный	1,38	1,43	1,34	1,44
	17. Восточный	1,41	1,41	—	—

Список литературы: 1. Whitaker E. A. The Nature of the Lunar surface. — «Proceeding of the 1965. J. A. U. — NASA Symposium», 1966, p. 79—90. 2. Application of Remote Spectral Reflectance Measurements to Lunar Geology

Classification and Determination of Titanium Content of Lunar Soils. — «J. Geophys. Res.», 1974, vol. 79, № 11, p. 1605—1613. Aut.: M. P. Charette, T. B. McCord, у. B. Adams, C. Pieters. 3. Евсюков Н. Н. Статистическое распределение альbedo по лунному диску. — «Астрон. журн.», 1973, № 50, вып. 1, с. 172—175. 4. Евсюков Н. Н. Статистическое распределение цвета по лунной поверхности. — «Вестн. Харьк. ун-та. Сер. Астрономия», 1973, вып. 8, с. 32—36. 5. Soderblom Z. A., Lebofsky Z. A. Techique for rapid determination of relative ages of Lunar areas from orbital photography. — «Y. Geophys. Res.», 1972, 77, № 2, p. 279—296. 6. Евсюков Н. Н. О колориметрической структуре лунных морей. — «Астрон. журн.», 1973, № 50, вып. 6, с. 1274—1279.

УДК 521.852

В. М. КИРПАТОВСКИЙ, П. П. ПАВЛЕНКО,
Р. М. ШУТЬЕВА

НАБЛЮДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЗВЕЗД И ПЛАНЕТ ЛУНОЙ В 1973—1975 ГОДАХ

Наблюдения покрытий звезд и планет Луной производились по предвычислениям Гринвичской обсерватории. Использовались также предвычисления старшего лаборанта ХГНИИМ Измайлова С. Р. (звезды с примечаниями 10, 11).

Регистрацию моментов времени осуществляли секундомерами с ценой деления $0,1^s$, которые затем привязывались к среднему хронометру, или клавишей печатающего хронографа, питаемого кварцевым генератором. Поправки хронометра и хронографа находили интерполяцией из нескольких сеансов приема сигналов точного времени радиостанции РАТ.

Оценка точности наблюдения дана по шкале К. К. Дубровского. Личное уравнение, равное $0,15^s$, учитывал только наблюдатель ПП.

В таблице дана сводка результатов наблюдений. Приняты следующие сокращения и обозначения. Телескоп: I — АЗТ-7 ($D=20$ см, $F=200$ см); II — рефрактор Цейсса ($D=20$ см; $F=320$ см); III — рефрактор Мерца ($D=16$ см, $F=180$ см). Наблюдатель: ВК — Кирпатовский В. М., ПП — Павленко П. П., РШ — Шутьева Р. М.

Явление: ПТ — покрытие темным краем, ОТ — открытие темным краем, ПС — покрытие светлым краем, ОС — открытие светлым краем. Регистрация времени: ГК — глаз-клавиша, СД — секундомер.

Примечание: 1 — темный край Луны виден; 2 — темный край Луны не виден; 3 — вокруг Луны гало; 4 — звезда слабее звезды № 880 и немного выше ее; 5 — небо еще сумеречное; 6 — изображение дрожит; 7 — после исчезновения мелькнул блик; 8 — *Cirrostratus*; 9 — двойная звезда, компоненты не разрешались, было лишь впечатление нерезкости изображения, момент покрытия компоненты 397-1 зарегистрирован по резкому падению яркости изображения системы; 10 — номер звезды дан по Йельским каталогам; 11 — номер звезды дан по каталогу «BD»; 12 — первый контакт с кольцом Сатурна; 13 — последний контакт с кольцом Сатурна; 14 — последний контакт с диском Сатурна; 15 — номер звезды дан по зодиаальному каталогу Робертсона.

Год, месяц	День, Всемирное время		№ звезды	Звездная величина	Телескоп, увеличение	Наблюда- тель	Явление	Оценка	Примеча- ния	Регистра- ция време- ни
	1		2	3	4	5	6	7	8	9
1973	16	16 ^h 23 ^m 29 ^s ,4	880	7,2	III×140	ВК	ПТ	3	2; 15	ГК
январь		29,9	880	7,2	II×300	ПП	„	5	2	СД
		16 25 04,9	77571	—	III×140	ВК	„	4	2; 4; 10	ГК
		17 00 37,5	882	5,0	III×140	„	„	4	2; 15	„
март	12	18 14 59,1	954	6,1	II×300	ПП	„	5	2	СД
		59,5	954	6,1	III×140	ВК	„	5	2	ГК
		18 38 10,9	956	6,3	II×300	ПП	„	5	2	СД
		11,1	956	6,3	III×140	ВК	„	5	2	ГК
		19 37 45,1	960	6,6	II×300	ПП	„	5	2	СД
		45,5	960	6,6	III×140	ВК	„	4	2	ГК
		20 01 04,6	962	7,0	III×140	„	„	5	2	„
апрель	6	18 14 09,4	578	8,9	II×300	ПП	„	5	—	СД
		7 19 11 44,2	77868	8,3	II×300	„	„	5	10	„
		10 18 24 04,7	1203	7,1	II×300	„	„	„	—	„
май	11	19 50 16,2	1629	6,8	III×140	ВК	„	4	2; 15	ГК
июнь	3	18 01 08,2	1113	5,2	III×140	„	„	3	2; 5; 15	„
		13 20 21 54,7	2269	5,4	III×140	„	„	5	2; 3; 6; 15	„
июль	9	19 10 59,8	2109	6,1	II×300	ПП	„	5	2; 15	СД
		11 00,0	2109	6,1	III×140	ВК	„	4	2; 15	ГК
		11 18 26 09,0	2364	6,8	II×300	ПП	„	5	2; 7; 8; 15	СД
		09,8	2364	6,8	III×180	ВК	„	5	2; 7; 8; 15	ГК
		19 20 13,5	2371	4,9	II×300	ПП	„	5	2; 8; 15	СД
		13,6	2371	4,9	III×180	ВК	„	5	2; 8; 15	ГК
де- кабрь	11	00 41 ^o 19,7	Сатурн	—0,2	III×180	„	ПС	2	2; 3; 12	„
		42 34,8	Сатурн	—0,2	III×180	„	„	2	2; 3; 13	„
	1	34 58,2	Сатурн	—0,2	III×180	„	ОТ	3	2; 12	„
		36 08,4	Сатурн	—0,2	III×180	„	„	3	2; 14	„
		35,4	Сатурн	—0,2	III×180	„	„	3	2; 13	„
	2	12 39,9	946	3,2	III×180	„	ПС	3	2; 3	„
		56 25,7	946	3,2	III×180	„	ОТ	3	2; 3	„
1974										
ян- варь	4	17 45 26,2	472	5,0	II×240	ПП	ПТ	5	2; 15	СД
		26,5	472	5,0	III×180	ВК	„	5	2	ГК
		20 53 00,9	486	5,2	III×180	„	„	5	2	„
	5	22 06 41,0	660	4,4	III×180	„	„	5	2	„
		22 19 01,8	664	5,4	III×180	„	„	5	2	„
фев- раль	27	17 55 44,8	717	8,1	II×240	ПП	„	5	1; 10	СД
		46,1	717	8,1	III×180	ВК	„	3	2	ГК
		18 14 00,4	Anonima	—	II×240	ПП	„	5	2	СД
		18 16 21,8	397—1	—	II×240	„	„	5	2	„
		22,5	397—1	—	III×180	ВК	„	2	9; 10	„
		18 16 27,0	397—2	—	III×180	„	„	4	2	„
		33,0	397—2	—	II×240	ПП	„	5	1; 10	СД
март	1	16 52 01,4	1460	8,7	III×180	ВК	„	4	2; 10	ГК
		1,7	1460	8,7	I×200	РШ	„	5	2	СД
		17 01 00,9	688	6,8	I×200	„	„	5	2; 15	„
		02,0	688	6,8	III×180	ВК	„	3	2	ГК
	28	19 05 30,9	656	4,4	I×200	РШ	„	5	2	СД

Продолжение таблицы

Год, месяц	День, Всемирное время				№ звезды	Величина звезды	Телескоп, увеличение	Наблюда- тель	Явление	Оценка	Примеча- ния	Регистра- ция време- ни
	1				2	3	4	5	6	7	8	9
	19	08	51,7		657	5,4	I×200	„	„	5	2	„
ав- густ	24	17	44	19,1	2290	2,5	III×180	ВК	„	5	2; 6; 8; 15	ГК
де- кабрь	21	16	55	49,5	3501	5,3	III×180	„	„	5	2; 15	„
1975												
май	16	18	02	29,1 14	1872	8,4	III×180	„	„	3	1; 8; 11	„
	18	21	11	59,8	1495	5,9	I×150	РШ	„	5	2; 15	СД
	19	18	15	59,4 00	2725	7,7	I×150	„	„	5	2; 11	„
		19	12	35,4 00	2726	7,6	I×150	„	„	5	1	„
ав- густ	15	19	23	14,2	2415	7,6	III×180	ВК	„	3	2; 15	ГК
				14,3	2415	7,6	I×150	РШ	„	4	1	СД
	16	18	19	24,6	2547	4,9	III×180	ВК	„	5	2; 8; 15	ГК
сен- тябрь				24,7	2547	4,9	I×150	РШ	„	5	2	СД
	17	19	45	07,3	3184	7,1	III×180	ВК	„	3	2; 15	ГК
			50	25,9	3185	5,3	III×140	„	„	5	2	„
				26,0	3185	5,3	I×200	„	„	4	2	СД
ок- тябрь	12	17	44	41,5	2903	7,9	II×240	ПП	„	5	2	„
				42,7	2903	7,9	II×140	ВК	„	3	2	ГК
	15	16	02	35,9	3259	7,4	III×140	ВК	„	4	2; 8; 15	„
де- кабрь	21	20	19	26,4	1318	5,7	II×240	ПП	ОТ	5	2; 15	СД