

УДК 523.4/6

ИЗОБРАЖЕНИЕ НЕИЗВЕСТНОГО СЕКТОРА МЕРКУРИЯ (260–350°W), ПОЛУЧЕННОЕ В САО РАН МЕТОДОМ КОРОТКИХ ЭКСПОЗИЦИЙ

© 2009 Л. В. Ксанфомалити¹, В. В. Власюк², К. В. Гречнев¹

¹Институт космических исследований РАН, Москва

²Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 18 марта 2008 г.; принята в печать 4 апреля 2008 г.

С целью получения изображения неизвестной части поверхности Меркурия в Специальной астрофизической обсерватории РАН были выполнены серии наблюдений планеты методом коротких экспозиций. В период 20–24 ноября 2006 г. удалось получить несколько тысяч электронных снимков планеты в утренней элонгации при хороших метеоусловиях. Угол фазы Меркурия менялся от 103° до 80°, область наблюдавшихся планетоцентрических долгот 260–350°W. Наблюдения выполнялись с использованием ПЗС-камеры на 1-метровом телескопе Цейсс-1000 (система Риччи-Кретьена) с фильтром КС-19 с коротковолновой границей у 700 нм. Как известно, на обычных снимках поверхность Меркурия остается практически неразрешенной. Путём обработки большого массива снимков, сделанных с миллисекундными экспозициями, удалось получить довольно четкое синтезированное изображение наблюдавшейся части поверхности Меркурия. Одной из главных задач новых наблюдений являлось получение общего вида бассейна, обнаруженного ранее одним из авторов (Ксанфомалити). Изображение этого гигантского образования было получено впервые. Размер его внутренней части превышает крупнейшее лунное Море Дождей, но, в отличие от последнего, бассейн имеет, по-видимому, ударное происхождение. На синтезированных изображениях поверхности планеты заметны ряд крупных ударных кратеров разного возраста и менее крупные образования. Предельное достигнутое разрешение соответствует дифракционному разрешению инструмента или примерно 100 км на поверхности Меркурия.

Ключевые слова: Солнечная система — планеты, кометы, малые тела, гелиосфера

1. ВВЕДЕНИЕ

Первая и до 2008 года единственная миссия к Меркурию — Mariner-10 — была осуществлена в 1973–1975 гг. Аппарат находился на планетарной орбите вокруг Солнца, периодически сближаясь с Меркурием. Ресурсы систем аппарата были исчерпаны после третьего сближения. Из-за орбитального резонанса геометрия сближений с планетой была такова, что во всех трёх случаях аппарат находился над одним и тем же её полушарием, освещенным Солнцем. Поэтому съёмкой было охвачено только около 35% площади планеты [1]. Встречающиеся иногда утверждения, что отснято почти 50% площади, основано на недоразумении: мозаичная съёмка проводилась с расстояний от 300 до 700 км, что при диаметре планеты 4880 км не позволило охватить более 35% поверхности. В дальнейшем обработка снимков краевых зон позволила увеличить отснятую поверхность до 46% [2]. Рельеф почти всей поверхности напоминает “материковые” области Луны,

“морей” лунного типа (лавовых) на этой стороне планеты обнаружено не было.

В начале XXI века исследования Меркурия активизировались. Возросший интерес исследователей планет к рельефу неизвестной части Меркурия объясняется, с одной стороны, тем, что во многих исходных данных нуждаются две новые планетные миссии: “Messenger” (аппарат дважды сближался с планетой в 2008 году и должен выйти на орбиту спутника Меркурия в 2011 году) и “VeriColombo” (ожидаемый запуск в 2013 году). Требуются сведения о поверхности Меркурия для выбора места посадки возможного зонда [2, 3]. С другой стороны, в необычности физики Меркурия многие надеются получить ответы на фундаментальные вопросы эволюции Солнечной системы.

Принято считать, что в наземных астрономических наблюдениях изображения Меркурия остаются практически неразрешенными. Из-за малого диаметра планеты угловые размеры изображения малы и в квадратуре составляют в среднем 7.3”.

К сожалению, использовать космические телескопы для получения изображений Меркурия не удаётся, так как малое угловое удаление планеты от Солнца создаёт риск повреждения аппаратуры прямым солнечным излучением. По той же причине администраторы наземных обсерваторий неохотно идут на использование больших телескопов для наблюдений Меркурия. Но как будет показано ниже, получить приемлемые изображения наземными средствами всё-таки удаётся. Наиболее перспективным методом для этого оказался метод коротких экспозиций [4]. Реализация метода — получение разрешенных изображений планеты — требует нескольких тысяч электронных снимков, сделанных с короткими экспозициями.

2. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА КОРОТКИХ ЭКСПОЗИЦИЙ

Существенный прогресс в получении разрешенных изображений поверхности Меркурия средствами наземной астрономии достигнут в последние годы с помощью электронных снимков, сделанных с короткими экспозициями. Для этого используются, как правило, ПЗС-камеры и сложные программы компьютерной обработки первичных данных. Идея использования коротких экспозиций существовала давно [4], опубликовано несколько попыток теоретической оценки возможного выигрыша в разрешении. Однако реализовать метод коротких экспозиций долгое время не удавалось из-за низкой чувствительности фотоматериалов. Только с появлением ПЗС-матриц с их высоким квантовым выходом стало возможным получение, в частности, электронных снимков Меркурия (хотя и в ограниченных пределах).

Имевшиеся экспериментальные данные показывали, что уменьшение экспозиции действительно значительно улучшает разрешение астрономических изображений. Если считать, что метод коротких экспозиций позволяет приблизиться к дифракционному пределу, то возможный выигрыш нетрудно оценить. Типичное разрешение телескопов умеренного размера (диаметром D около 1–1.2 м) обычно составляет $1.0'' - 1.5''$, что на длине волны $\lambda = 550$ нм в 9–13 раз хуже дифракционного предела, равного $1.22\lambda/D$. Реальное разрешение определяется главным образом атмосферной турбулентностью. Характерное время, за которое мгновенные оптические свойства атмосферы могут измениться, редко бывает меньше 30 мс [4]. Оно зависит от места наблюдения, времени суток, плотности аэрозольной составляющей и, конечно, зенитного расстояния объекта (воздушной массы $x = \sec z$). Метод коротких экспозиций принципиально отличается от техники адаптивной оптики

тем, что использует мгновенные прояснения атмосферы. Уменьшение экспозиции не устраняет искажения, вызываемые нерегулярностями воздушных линз, но существенно уменьшает размытие изображения. Накопив большое количество электронных снимков, можно затем выбрать из них изображения с небольшими искажениями, пригодные для дальнейшей обработки.

Для Меркурия условия наблюдений дополнительно осложняются большой величиной воздушной массы из-за больших зенитных расстояний планеты и высокой яркостью утреннего или вечернего неба в моменты его видимости. Благоприятные для наблюдений периоды кратковременны. Условия видимости планеты таковы, что её успешные наблюдения возможны только в обсерваториях южных широт.

В работе Фрида [5] проводится подробный анализ искажений волнового фронта, которые ухудшают разрешение астрономических инструментов. Эти искажения создаются атмосферными неоднородностями плотности с характерными размерами r . Параметр r определяется как диаметр когерентной зоны, ограниченной турбулентностью. Для инструмента с диаметром, превышающим $3.5r$, разрешение, ограниченное турбулентностью, составляет λ/r , а возможный выигрыш в разрешении может достигать 3.4 при коротких экспозициях. Автор [5] приводит “вероятность удачной короткой экспозиции” $p \approx 5.6 \exp[-0.1557(D/r)^2]$. Можно было бы сделать вывод, что с увеличением диаметра телескопа положение становится практически безнадежным. Поскольку наблюдения Меркурия всегда ограничены по времени, особого выбора нет, и иногда их приходится проводить в условиях неблагоприятной погоды. В [5] приводится полезная оценка постоянной составляющей V скорости ветра, перпендикулярной линии зрения. В этом случае критерием является то, что изменения в наклоне волнового фронта не превышают $1/2(\lambda/D)$, если длительность экспозиции $t = r/2V$. В качестве следствия указывается, что наиболее благоприятные условия наблюдения перед рассветом, когда атмосферная турбулентность ещё не возникла, а для дневных наблюдений (с малыми зенитными расстояниями) достаточно длительные экспозиции можно получить при небольшой силе ветра. Мендилло и др. [6] оценили, что “...при фиксированной шкале турбулентности r вероятность p резко уменьшается, при возрастании диаметра телескопа D . При $D/r = 5$ одно “хорошее” изображение приходится на 10 коротких экспозиций, а при $D/r = 10$ — на миллион.”

Заключения перечисленных авторов о преимуществах небольших (0.5 м) телескопов представля-

ется дискуссионным, так как не учитывается, например, что экспозиция с 1.5-м телескопом может быть на порядок короче, чем с 0.5-м при том же отношении сигнал/шум. Кроме того, число фотонов, приходящееся на единичный элемент приёмника при использовании ПЗС высокого разрешения, всегда ограничено и подвержено значительным флуктуациям. Поэтому хороший результат можно получить лишь при совмещении многих сотен и даже тысяч электронных снимков. Доступное время для наблюдений Меркурия настолько ограничено, что экспериментальный материал необходимого объёма возможно получить только на достаточно большом инструменте, когда суммарное время экспозиций составляет лишь малую часть всего наблюдательного времени. Наряду с упомянутыми есть, по-видимому, и другие неучтённые факторы. Например, в сериях с большим числом электронных снимков наблюдаются небольшие повороты последовательных изображений в позиционной плоскости. Явления в атмосфере, вызывающие вращения изображения, известны плохо, но этот факт существенно затрудняет обработку наблюдательных данных.

Что касается долговременных атмосферных нестабильностей, то с помощью метода коротких экспозиций было показано [7], что они возникают в течение нескольких секунд (или десятков секунд). Это ещё более ограничивает возможности малых инструментов. Не менее интересны более быстрые изменения. Часто изображение неузнаваемо изменяется за 50 – 100 мс [8].

При очень благоприятных атмосферных условиях до 25% снимков получаются сравнительно чёткими. Методами корреляционного совмещения затем создаются разрешенные изображения поверхности планеты.

3. ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ НАБЛЮДЕНИЯ МЕРКУРИЯ

В период 1995–2002 гг. Варелл выполнил обширные серии наблюдений Меркурия с ПЗС-приёмниками в обсерватории Ла Пальма (Канарские острова) на 0.5-м солнечном телескопе. Экспозиции были от 25 до 300 мс [9]. Он использовал единичные наиболее удачные снимки без их дальнейшего совмещения. Естественно, что они уступают изображениям, полученным при обработке больших массивов.

Наши первые сравнительно удачные результаты наблюдений с короткими экспозициями были получены в Абастуманской астрофизической обсерватории АН Республики Грузия в утренней элонгации ноября 1999 г. Затем наблюдения в Абастуманской обсерватории продолжились с использованием ПЗС-камеры типа STV в 2001 и 2003 гг.

[4, 7, 10, 11] в период утренней видимости планеты. Использовался телескоп АЗТ-11 ($D=1.25$ м, касегреновский фокус $F=16$ м) с фильтром, отсекающим волны короче 700 нм, что значительно уменьшает рассеянный свет неба и устраняет хроматическую абберацию (при использовании увеличительной камеры). Даже при малых размерах элемента ПЗС-матрицы (для камеры STV это 7.4×7.4 мкм), длиннофокусный инструмент обладает преимуществами при наблюдениях Меркурия, так как возрастает номинальное разрешение, важное для корреляционного совмещения. Вместе с тем, из-за высокой яркости объекта, время накопления в каждом пикселе, необходимое для дальнейшей обработки нескольких тысяч единиц сигнала, всё ещё не превосходит нескольких миллисекунд. Обработка результатов наблюдений 2001 года показала, что объём информации, содержащийся примерно в 100–200 “хороших” электронных снимках, всё ещё недостаточен для получения незашумлённых изображений неизвестной части планеты.

Следующая успешная серия наблюдений Меркурия была выполнена в мае 2002 г. в вечерней элонгации в обсерватории Скинакас (о. Крит, Греция), когда были получены около 20 000 электронных снимков. В декабре 2003 г. выполнялись наблюдения планеты в обсерватории Бигелоу (Аризона, США), а в 2004–2005 гг. — в обсерватории Пик Терскол (Кабардино-Балкария). Оба раза также в вечерней элонгации.

В 2000–2006 гг. были созданы специальные программы обработки [8, 12, 13], что позволило впервые получить достаточно чёткое синтезированное изображение поверхности Меркурия и картировать сектор долгот $210\text{--}285^\circ\text{W}$ (Рис.1), не охваченный съёмкой аппарата Mariner-10. По результатам наблюдений в обсерватории Скинакас, путём обработки большого массива снимков с миллисекундными экспозициями, удалось показать, что в секторе $210\text{--}285^\circ\text{W}$ расположен гигантский бассейн (или кратерное море) диаметром около 2000 км и центром примерно 8°N , 280°W [8, 10]. Бассейн представляет собой самое большое образование такого рода на планетах земной группы. По названию обсерватории, где проводились наблюдения, рабочим названием этого образования стал “Бассейн Скинакас” или “Basin S”. Восточная половина бассейна (большая тёмная область на терминаторе, севернее центра на Рис.1) была описана в работах [12–14], а западная однажды была фрагментарно представлена в работах [15, 16]. Одной из главных задач новых наблюдений было получение общего вида бассейна и повышение разрешения его изображений.

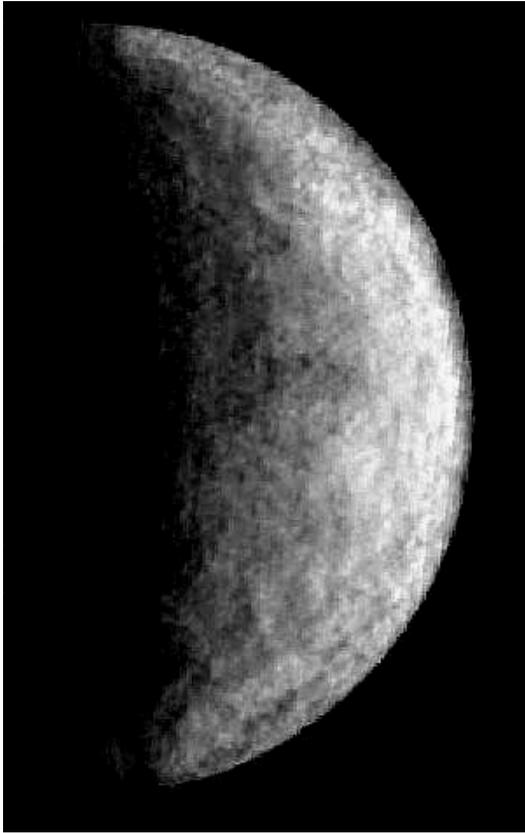


Рис. 1. Поверхность Меркурия в секторе долгот 210–285° не наблюдавшемся аппаратом Magipec-10. Изображение получено методом корреляционного совмещения нескольких тысяч исходных электронных снимков.

4. НАБЛЮДЕНИЯ МЕРКУРИЯ В САО РАН В НОЯБРЕ 2006 г. ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Приводимые в настоящей работе результаты наблюдений, выполненных в Специальной астрофизической обсерватории РАН, относятся к утренней элонгации Меркурия 20–24 ноября 2006 г. Удалось получить несколько тысяч электронных снимков планеты при хороших метеоусловиях. Преимуществом САО для наблюдений Меркурия является большая высота (2100 м) и сравнительно низкая широта. Наблюдения выполнялись на телескопе Цейс-1000 системы Риччи-Кретьена ($D = 1$ м, $F = 13$ м). Использовалась ПЗС-камера STV (матрица TC-237 с размером пиксела 7.4×7.4 мкм) со стеклянным фильтром КС 19, отсекающим излучение короче 700 нм. Длинноволновая граница определялась спектральными свойствами матрицы. Спектральная чувствительность камеры достигает 80% на 750–800 нм, а затем плавно спадает до 10% на 1000 нм. В наблюдениях использовались экспозиции, в основном, 1 мс и до 10 мс при предельно больших z . Малые размеры

изображения позволяли применить программу “grab” камеры STV для быстрого сбора и занесения во флэш-память камеры снимков, получаемых с периодом 100 мс, что позволило получить большое число исходных снимков. Опыт наблюдения в обсерватории Пик Терскол показал, что дневные наблюдения Меркурия малоэффективны, поэтому ноябрьские (2006 г.) наблюдения заканчивались с восходом Солнца и возрастанием фона до 25–30% от полезного сигнала. С 21 по 24 ноября 2006 г. удалось получить несколько тысяч электронных снимков планеты с короткими экспозициями при хороших метеоусловиях за исключением 22 ноября. Диск планеты был виден под углом от 6 до 7 секунд дуги, что соответствовало в среднем 0.41 мм в фокальной плоскости телескопа и 50 строкам на ПЗС-матрице в режиме “zoom”. Угол фазы Меркурия во время наблюдений составлял: 20 ноября — 103°, 21 ноября — 98°, 23 ноября — 84°, 24 ноября — 80°. Область наблюдавшихся планетоцентрических долгот Меркурия находилась в пределах 260–350°W.

Методика получения большого числа электронных фотографий Меркурия с миллисекундными экспозициями и приёмы их обработки изложены в работах Ксанфомалити и др. [12, 14]. В дальнейшем путём лабораторной обработки большого массива электронных снимков удалось получить достаточно чёткое изображение неизвестной части поверхности Меркурия.

Обработка методом корреляционного совмещения (stacking) наряду с операциями “нечёткой маски” и деконволюцией (по Люси-Ричардсону) включает выбор так называемого пилот-файла, который в значительной мере определяет результат достигаемого совмещения. Перебор пилот-файлов многократно увеличивает трудоёмкость обработки, так как результат становится виден только на заключительных этапах обработки. Пилот-файл, или образец, представляет собой наименее искажённое изображение среди исходного наблюдательного материала. Если, исходя из опыта, его форму и положение ещё можно оценить, то реальность едва различимых деталей можно подставить под сомнение. В ходе настоящей работы была создана программа автоматической обработки. Однако её эффективность значительно уступает корреляционному совмещению с ручным отбором. Программа отработывалась на массиве данных, полученном 24 ноября 2006 г. Результат обработки 7800 исходных снимков представлен на Рис.2. Угол фазы составляет 80°. Изображение (а) построено путём совмещения результатов работы различных вариантов программы автоматической обработки. Изображение не слишком чёткое, но детали в $1/30$ диаметра различаются уверенно, а это 160 км на

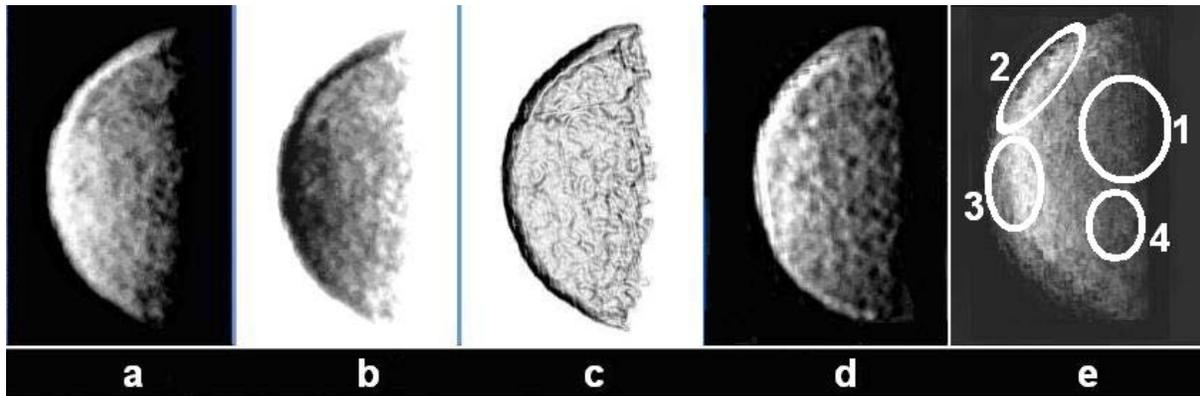


Рис. 2. Результат автоматической обработки 7800 исходных электронных снимков, полученных 24.11.2006. (a) — совмещение результатов различных программ автоматической обработки; (b) — негативная версия; (c) — “выделение краёв”; (d) — 9 итераций деконволюции по Люси-Ричардсону; (e) — крупные детали рельефа. Различаются детали в $1/30$ диаметра планеты (160 км на поверхности). Фаза Меркурия 80° .

поверхности планеты. Негативная версия (b) улучшает различимость некоторых деталей, например, большого ударного кратера у лимба на экваторе. Изображение (c) построено с помощью стандартного инструмента “Выделение краёв” программы “Microsoft Office” и подчёркивает детали. Изображение (d) имеет характерный вид, соответствующий операции деконволюции по Люси-Ричардсону (9 итераций), но возможности деконволюции здесь не реализованы полностью. Наиболее крупные образования заметны на изображении (e). Гигантский бассейн “Basin S” находится целиком в дневной зоне (1) и хорошо различим. Длинные лучи (2) от ударного кратера вблизи северной части лимба тянутся на расстояние около 5000 км (и лучше видны на изображении (c)). Большой сдвоенный ударный кратер (3) на экваторе относится к наиболее заметным деталям рельефа. В южном полушарии выделяется кратер (4) и примыкающий к нему с юга тёмный объект.

Следует отметить, что постоянной проблемой синтеза изображений неизвестной части Меркурия остаётся доказательство реальности их деталей. Съёмкой “Maginer-10” были охвачены меридиональные сегменты примерно $120-190^\circ\text{W}$ и $0-50^\circ\text{W}$. Если для этих долгот подтверждение реальности деталей может дать сравнение полученных изображений с фотокартой, то в остальных случаях доказательством реальности может быть только повторяемость их в независимо полученных наблюдениях. В области долгот $210-350^\circ\text{W}$ поверхность Меркурия была неизвестна, поэтому единственным критерием реальности деталей оставалось их наличие на нескольких изображениях, синтезированных из независимых исходных наблюдательных данных.

Исследованный сектор $260-350^\circ\text{W}$ имеет наиболее интересный рельеф как по сравнению с рай-

онами, картированными аппаратом “Maginer-10”, так и по сравнению с сектором $210-280^\circ\text{W}$, показанном на Рис.1. На Рис.2 можно различить, кроме перечисленных, некоторые другие крупные образования. Но для выделения более мелких деталей разрешения недостаточно.

5. ПОВЕРХНОСТЬ МЕРКУРИЯ В ОБЛАСТИ ДОЛГОТ $260 - 350^\circ\text{W}$

Более высокое разрешение (на Рис.3 и последующих изображениях) получено кропотливым методом корреляционного совмещения. Наиболее важными и трудоёмкими процедурами были отбор неискажённых снимков и их корреляционное совмещение. Затем выбиралась оптимальная глубина “нечёткой маски” — операции для выделения мелких деталей. Разрешение на изображениях может быть улучшено с помощью процедуры деконволюции по Люси-Ричардсону. Для обработки использовался комплекс из 16 программ, главными из которых были новая программа АИМАР 225, разработанная Кахиани в 2002 г. и программы AstroStack [17].

На Рис.3 показан Меркурий в середине периода наблюдений (21.11.2006) и то же изображение планеты с нанесённой координатной сеткой. Фаза составляет 98° . Кружком отмечено положение объекта “Basin S”. Сравнение Рис.3 с Рис.4 и 5 показывает, как изменяется вид планеты с изменением фазового угла. (Напомним, что в отличие от Луны, фазы которой с точностью до либрации привязаны к определённым участкам поверхности, поверхность Меркурия позволяет видеть любые долготы независимо от фазы планеты.) Большой удачей ноябрьских (2006 г.) наблюдений стала возможность сравнивать изображения, идентифицировать повторяющиеся детали и подтверждать

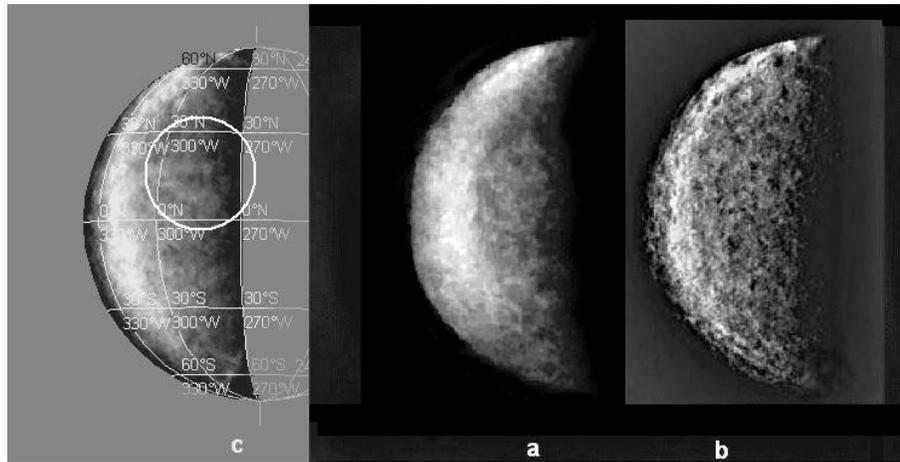


Рис. 3. Вид планеты в фазе 98° 21.11.2006 (а — предварительная, б — окончательная обработка); с — то же изображение с нанесённой координатной сеткой. Кружком показано положение объекта “Basin S”.

таким образом их реальность. На Рис.4 показаны изображения, синтезированные по материалам наблюдений 20.11.2006 в более ранней фазе, чем на Рис.5, когда благодаря наклонному освещению все детали рельефа выделялись более контрастно. Рис.4 соответствует углу фазы 103° . Изображения (а) и (б) построены из независимых групп исходных снимков с использованием разной глубины “нечёткой маски”. На изображении (а) контрасты ослаблены, на (б) несколько усилены, на (с) подчеркнуты. Тёмный объект “Basin S” с двойным валом (1 на Рис.5с) чётко виден на всех изображениях. Он сместился к центру после прохождения квадратуры (Рис.3 и 5b, угол фазы 98°). Светлая полоса вдоль лимба, отмеченная как (2) на Рис.5с, оказывается радиальными выбросами вдоль северной части лимба из ударного кратера. Вытянутые светлые полосы образуют также выбросы из западной части большого ударного кратера (3) с тёмным центральным ядром вблизи экватора. На Рис.3 и 5, синтезированных по наблюдениям 21.11.2006 (угол фазы 98°), терминатор переместился к востоку на 6° , а планета, учитывая движение Меркурия относительно Земли, повернулась на 4° . Наряду с “Basin S” улучшилась видимость и других деталей. Здесь “Basin S” с его центром примерно у 8°N , 280°W — наиболее заметное образование (Рис.5b). Размеры его внутренней части превышают крупнейшее лунное Море Дождей. Но, в отличие от последнего, “Basin S” имеет, по-видимому, ударное происхождение. В южной части Рис.4 и 5, полученных с различными пилот-файлами и разными уровнями контрастности и нечёткой маски, видны крупные кратеры (например, 4 на Рис.5с).

Как уже говорилось, для получения синтезированных изображений высокого качества, исходных удачных снимков должно быть не менее несколь-

ких сотен. После предварительной селекции обычно остаётся менее половины снимков. Дальнейший отбор, выполняемый программно или вручную, неизбежно содержит ошибки оператора, в том числе ошибки выбора пилот-файла. Подбор размеров элементов нечёткой маски позволяет получить варианты изображений, где значительно повышается чёткость средних и малых деталей рельефа, но в ущерб крупным деталям, таким как общие контуры “Basin S”. На Рис.3–5 область терминатора находится в зоне пониженной яркости, но её видимость можно улучшить гамма-коррекцией. Нам удалось подобрать исключительно удачный пилот-файл и группу мало искажённых исходных электронных снимков, полученных в интервале 5:54–6:01 UT 21.11.2006. Изображение, синтезированное в результате обработки этой серии, показано на Рис.6. Гамма-коррекция позволила представить на рисунке область терминатора. Из-за смещения изображения на ПЗС в момент наблюдений южная часть планеты на синтезированном изображении потеряна. Крайняя северо-северо-западная часть лимба также срезана. Детали сектора долгот 260–350°W Меркурия, представленные на Рис.6, изучаются.

Вероятная ошибка синтеза приводилась в работе [4]. В конечном счёте, детали синтезированных изображений Меркурия — это элементы, контрастность которых для Рис.6 лежит в пределах 4–10%. Относительная среднеквадратичная ошибка σ_R/R для среднего сигнала R , получаемого от одного элемента матрицы, составляет 0.68%. Таким образом, величина утроенной ошибки $3\sigma_R \approx 2\%$ сравнима с контрастом отдельных элементов изображения. Однако, изображение деталей образовано не единичным, а большой группой элементов (для Рис.6 — это около 2200 пиксе-

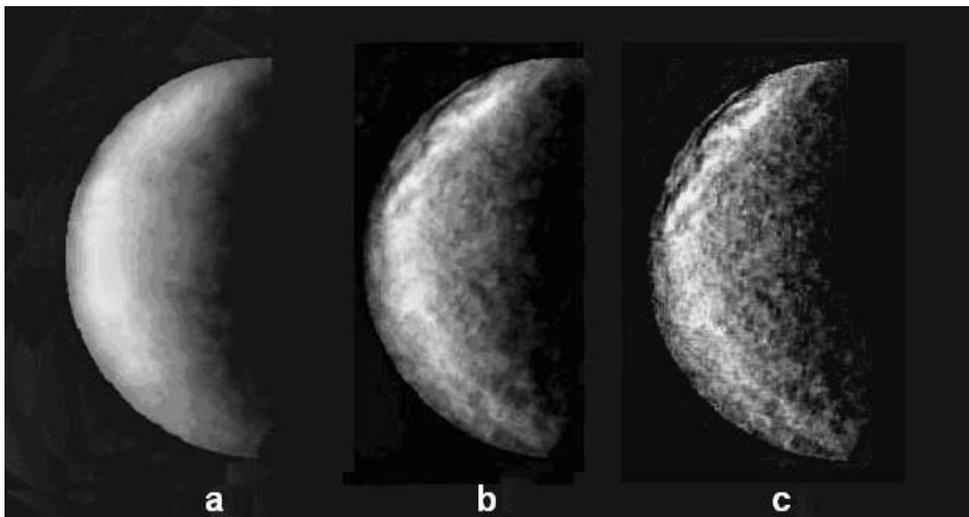


Рис. 4. Изображения, синтезированные методом корреляционного совмещения по наблюдениям 20.11.2006. Угол фазы Меркурия 103° . Изображения (a) и (b) построены по независимым группам исходных снимков с использованием разной глубины “нечёткой маски”. На изображении (c) контрасты подчеркнуты. Тёмный объект “Basin S” с двойным валом наиболее четко виден на изображении (c).

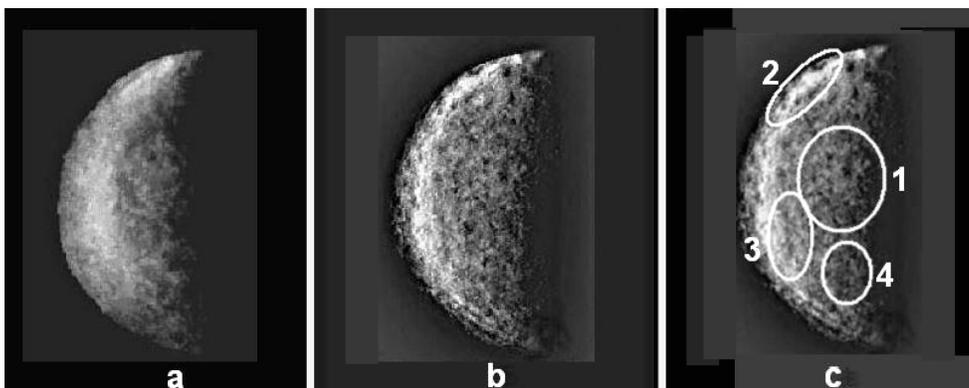


Рис. 5. Два независимых изображения, синтезированных по результатам наблюдений 21.11.2006 (a, b) и положение крупных деталей (c). Угол фазы 98° .

лов), вероятность ошибочного сочетания которых значительно ниже.

6. СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СО СНИМКАМИ АППАРАТА MESSENGER

В заключение было бы интересно сравнить синтезированные нами наземные изображения со снимками аппарата MESSENGER, который в 2008 году дважды сближался с Меркурием. К сожалению, в обоих сближениях наблюдались долги, которые не совпадают с наблюдавшимся в CAO сектором планеты. Зато западная часть сектора, представленного на снимке PIA 10172 аппарата MESSENGER (14.01.2008), частично перекрывается с изображением, представленным на Рис.1 для долгот $215^\circ - 285^\circ W$. На Рис.7

сравниваются фрагменты изображения Рис.1(A) и той же самой области снимка PIA 10172(B). Положение лимба на Рис.1 (02.05.2005) обозначено на снимке (B). Поскольку вид безатмосферного небесного тела резко изменяется с изменением угла фазы, этот эффект почти полностью подавляет тени на снимке MESSENGER. Положение утреннего терминатора на изображении (A) достаточно близко совпадало с утренним терминатором на изображении (B). Согласно данным с сайта <http://messenger.jhuapl.edu/encounter/index.php/> за 16 января 2008 г., центр изображения PIA 10172 находится у $0.02^\circ N$, $125.00^\circ E$ ($0.02^\circ N$, $235^\circ W$). Хотя углы фазы изображений различны, сравнение поверхности для районов, расположенных близко к терминатору, вполне возможно. Два фрагмента изображения PIA 10172 (1 и 2) были обработаны, благодаря

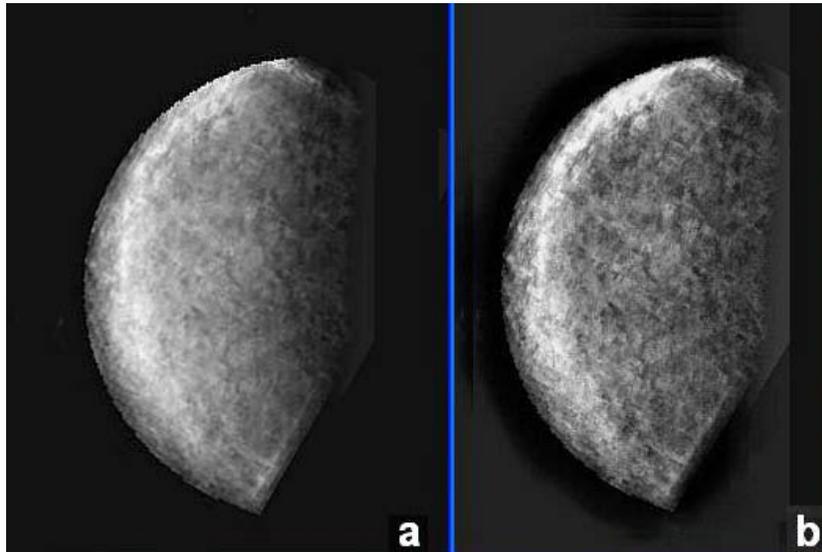


Рис. 6. Синтезированное изображение Меркурия в области долгот 260–350°W по результатам наблюдений 21.11.2006. Угол фазы 98°. Гамма-коррекция позволила показать зону терминатора.

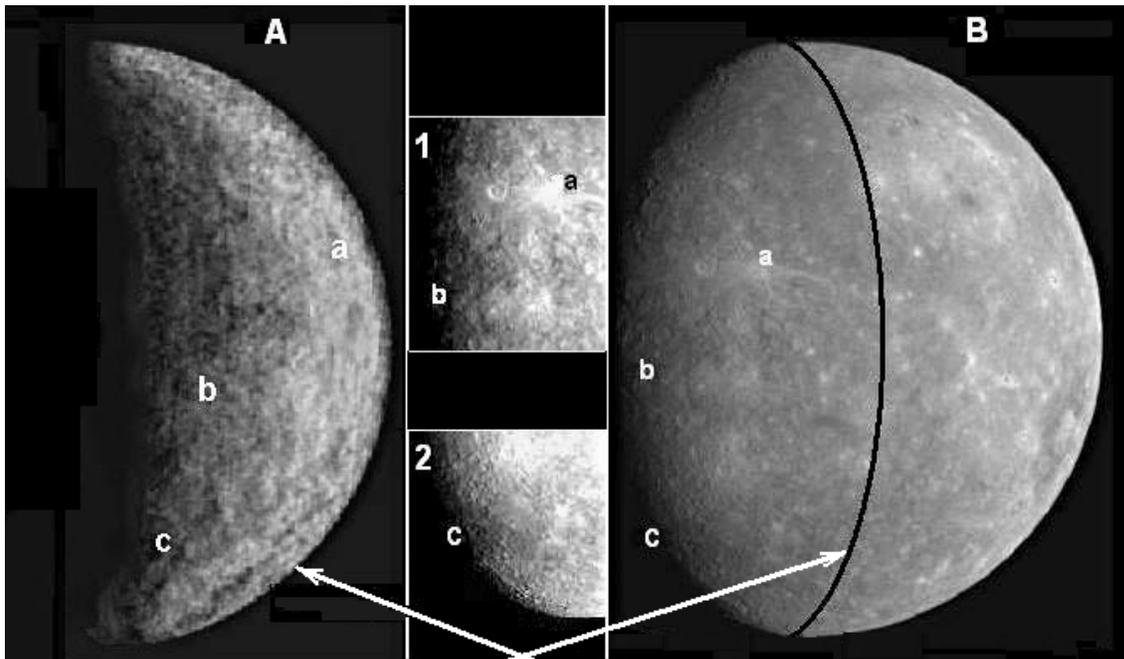


Рис. 7. Сравнение фрагментов изображения (А), полученного наземными средствами, с деталями снимка PIA 10172 (В), полученного с аппарата MESSENGER (14.01.2008). Отождествляются детали размером до 100км и меньше.

чему контрастность их деталей приблизилась к контрастности изображения (А). Были отобраны три примера.

Большой темный “залив” на фрагменте 1 подобен такому же образованию в центре изображения (А). Протяженный “луч” (по лунной терминологии), длинная дуга *ab*, проходит по диагонали в юго-западном направлении вблизи центра изображения. Ширина дуги всего около 80 км. На

фрагменте 1 дуга *ab* — это длинный юго-западный луч от яркого ударного кратера *a*. Дуга хорошо видна на изображении (А), где она пересекает “залив”. “Лучи” от ударных образований — это цепочки мелких кратеров. Другой пример — это пятиугольный кратер “с” на изображении (А), с центром у 32°S, 260°W. На изображении (В) он почти не виден. Но при повышении контрастности, кратер “с” также хорошо различается на фрагмен-

те 2. Из-за различного положения наблюдателя изображение “с” вытянуто несколько по-разному на изображениях (А) и (В).

Таким образом, сходство между деталями поверхности фрагментах 1 и 2 и в центральной части изображения (А) достаточно убедительно. Можно утверждать, что обработка удачных наземных снимков позволяет различать на Меркурии детали размерами менее 100 км.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые наблюдения Меркурия в утренней элонгации, выполненные методом коротких экспозиций, проведены 20–24 ноября 2006 г. в Специальной астрофизической обсерватории РАН. При хороших метеоусловиях удалось получить несколько тысяч электронных снимков планеты с экспозициями 1–3 мс. Наблюдения выполнялись на телескопе Цейсс-1000 с фильтром КС 19, отрезавшим излучение короче 700 нм. Использовалась ПЗС-камера STV с размером пиксела 7.4×7.4 мкм. Диск планеты был виден под углом от $6''$ до $7''$. Угол фазы Меркурия лежал в пределах $103\text{--}80^\circ$.

Наблюдениями была охвачена поверхность планеты в интервале долгот $260\text{--}350^\circ$ W. Полученные результаты впервые дают полный вид наиболее крупного образования в области этих долгот — большого бассейна (или кратерного “моря”), с центром примерно у 8° N, 280° W. Отождествление координат предварительное. Имеющийся материал не позволяет однозначно трактовать более темную часть поверхности кольцевой депрессии как кратерное “море” или область, заполненную мафическими лавовыми породами. Возможно, поэтому следовало бы употребить стандартный термин меркурианской номенклатуры “равнина”. Но для “Basin S” мы используем более общий термин “бассейн”, применяемый при обозначении обширных кольцевых впадин на поверхностях планет и спутников.

“Basin S” имеет двойной вал с диаметром внутренней части около 25° (1000 км) и вдвое большим диаметром различного внешнего вала. Размеры внутренней части несколько превышают крупнейшее лунное Море Дождей, а внешняя часть имеет масштабы лунного Океана Бурь. Исходя из свойств “Basin S”, часто встречающееся в литературе утверждение о том, что рельеф Меркурия главным образом материковый (по лунной терминологии), следует относить лишь к части, известной по съёмкам аппарата “Maginer 10”, на которой, тем не менее, находится обширная кратерная Равнина Жары. В отличие от Моря Дождей, судя по Рис. 3–5, “Basin S” имеет сложную структуру центрального образования, что подразумевает

ударное происхождение. В то время как поверхность Моря Дождей представляет собой лавовое поле, формирование которого относится к древней эпохе глобальных лавовых излияний на Луне. По крайней мере размеры “Basin S” указывают на очень крупное (вернее, раннее) ударное явление.

На синтезированных независимых изображениях прослеживается много менее крупных образований. Предельное разрешение на Рис.6 примерно соответствует дифракционному разрешению инструмента на уровне 0.9 PSF, около 50 км на поверхности Меркурия и совпадает с результатами, представленными в работах [4, 7, 8, 13, 14]. Несмотря на трудность наблюдений Меркурия и ограничение длительности возможных наблюдений, в хороших атмосферных условиях удаётся получать исходные снимки, пригодные для синтеза качественных изображений планеты. Продолжение этой работы позволит, по-видимому, в ближайшие годы средствами наземной астрономии картировать всю поверхность планеты с разрешением, близким к дифракционному пределу телескопа на уровне 0.9 PSF.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность администрации САО РАН за предоставление возможности наблюдений и Р. Стекеленбургу за программы для обработки данных и полезные замечания по их использованию. Работа поддержана грантом РФФИ 07-02-00031.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. F. Vilas, in *Mercury*, Eds. F. Vilas, C. R. Chapman, M. S. Matthews (Tucson, Univ. of Arizona Press, 1988), pp.59–76.
2. R. Grard and A. Balogh, *Planetary and Space Sci.* **49**, 1395 (2001).
3. B. Battrick (Ed), *Bepi-Colombo Interdisciplinary mission to planet Mercury*// European Space Agency, ISBN № 92-9092-642-2, (2000) p.37.
4. Л. В. Ксанфомалити, *Астрон.вестн.* **36**, 291 (2002).
5. D. L. Fried, *JOSA* **68**, 1651 (1978).
6. M. Mendillo, J. Warell, S. S. Limaye, et al., *Planetary and Space Sci.* **49**, 1501 (2001).
7. Л. В. Ксанфомалити, В. П. Джапиашвили, В. О. Кахиани и др., *Астрон.вестн.* **36**, 366 (2002).
8. Л. В. Ксанфомалити, *Письма в АЖ* **31**, 860 (2005).
9. J. Warell and S. S. Limaye, *Planetary and Space Sci.* **49**, 1531 (2001).
10. Л. В. Ксанфомалити, *Астрон.вестн.* **37**, 514 (2003).
11. Л. В. Ксанфомалити, В. П. Джапиашвили, О. В. Кахиани и др., *Астрон. Вестн.* **35**, 208 (2001).
12. L. Ksanfomality, G. Papamastorakis, and N. Thomas, *Planetary and Space Sci.* **53**, 849 (2005).

13. L.Ksanfomality and A.L.Spague, *Icarus* **188**, 271 (2007).
14. L. V. Ksanfomality, *Advances in Space Research* **38**, 594 (2006).
15. R. F. Dantowitz, S. W. Teare, and M. J. Kozubal, *Astronom. J.* **119**, 2455 (2000).
16. J. Baumgardner, M. Mendillo, and J. K. Wilson, *Astronom. J.* **119**, 2458 (2000).
17. R. Stekelenburg, <http://www.astrostack.com/>

IMAGING OF AN UNKNOWN SECTOR OF MERCURY (260–350°W) AT THE SPECIAL ASTROPHYSICAL OBSERVATORY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES USING THE SHORT-EXPOSURE METHOD

L.V. Ksanfomaliti, V.V. Vlasyuk, K.V. Grechnev

A series of observations of Mercury were performed at the Special Astrophysical Observatory using the short-exposure method to image a hitherto unknown part of the Hermean surface. Several thousand electronic frames of the planet were taken during its morning elongation in the period from November 20–24, 2006. The phase angle of Mercury varied from 103° to 80°, and the interval of planetocentric longitudes observed spanned from 260 to 350°W. Observations were made with a CCD camera attached to the 1-m Zeiss-1000 Ritchey–Chretien telescope operating with a KS-19 filter (short-wavelength border at 700 nm). The Hermean surface is known to be almost impossible to resolve on ordinary images. A reduction of a large number of frames taken with millisecond-long exposures made it possible to obtain a rather sharp image of the observed part of the Hermean surface. One of the primary aims of new observations was to have a general outline of the basin earlier found by one of the authors (L. Ksanfomaliti). We are the first to image this giant feature. The size of its inner part exceeds that of the largest lunar Mare – Mare Imbrium, however, unlike the latter the studied basin is of impact origin. The synthesized images reveal a number of large impact craters of various ages, as well as smaller features. The highest resolution achieved corresponds to the diffraction limit for the instrument employed, or about 100 km on the Hermean surface.

Key words: *Solar Sistem: planets, comets, Small Bodies, heliosphere*