





МРНТИ 41.19.25

А.А. Солодовник , Б.М. Усеинов , А.Н.Кожаметова , А.Е. Скрыбин 
Северо-Казахстанский Государственный университет им. М. Козыбаева
buseinov@gmail.com

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ЛУННЫХ ЯВЛЕНИЙ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ТИПА

Аннотация. Разносторонние исследования Луны в настоящее время всё более актуализируются в свете развиваемых ведущими космическими державами программ по включению этого небесного тела и окололунного пространства в сферу не только научных, но и практических интересов. В этой связи невозможно обойти вниманием феномен кратковременных лунных явлений (КЛЯ), само существование которых не может не учитываться при реализации лунных пилотируемых программ. Предлагаемая работа нацелена на решение важнейшей задачи в комплексной проблеме изучения КЛЯ – их регистрации. Следует уточнить разнообразие физических причин возникновения кратковременных лунных явлений. Из всей довольно широкой совокупности таких явлений мы выделили самые малоизученные – КЛЯ люминесцентного типа. Их возникновение можно связать либо с дегазацией лунных недр, либо со столкновениями с поверхностью Луны ударников, содержащих преимущественно летучие вещества. Регистрация этих КЛЯ (в дневной части лунного диска) затруднена их низкой контрастностью на общем фоне освещённой Солнцем поверхности Луны. В работе физически обоснован и детально проработан метод, позволяющий повысить контраст люминесцентных свечений на изображениях лунного диска или его частей. Метод предполагает внедрение автоматизированной обработки изображений, тем самым обеспечивая объективность получаемых результатов.

Ключевые слова: кратковременные лунные явления, дегазация лунных недр, люминесценция, бальмеровские линии водорода, мониторинг КЛЯ, контраст изображений, интерференционные фильтры, цифровая обработка изображений.

А.А. Солодовник, Б.М. Усеинов, А.Н. Қожахметова, А.Е. Скрыбин
М.Қозыбаева атындағы Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті
buseinov@gmail.com

ЛЮМИНЕСЦЕНТТІК ТҮРДІҢ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ АЙ ӘСЕРІН ТІРКЕУ ӘДІСТЕРІН ДАМУ

Аннотация. Айдың жан-жақты зерттеулері қазіргі уақытта жетекші ғарыш державалары дамытатын осы аспан денесін және жер маңындағы кеңістікті ғылыми ғана емес, сонымен қатар практикалық мүдделерге қосу жөніндегі бағдарламалар аясында аса өзекті болып отыр. Осыған байланысты қысқа мерзімді ай құбылыстарының феномендерін назар аудару мүмкін емес, олардың болуы аймен басқарылатын бағдарламаларды іске асыру кезінде ескерілмейді. Ұсынылып отырған жұмыс қысқа ауысымды ай құбылыстарын – оларды тіркеуді зерделеудің кешенді проблемасындағы маңызды міндеттерді шешуге бағытталған. Қысқа мерзімді ай құбылыстарының пайда болуының физикалық себептерінің әртүрлілігін нақтылау керек. Мұндай құбылыстардың барлық кең жиынтығынан біз ең аз зерттелген – люминесцентті түрдегі қысқа мерзімді ай құбылыстарын бөліп алдық. Олардың пайда болуын ай жер қойнауының газсыздандыруымен немесе негізінен ұшатын заттар бар соққылар айдың беткейімен соқтығысумен байланыстыруға болады. Осы қысқа мерзімді ай құбылыстарын тіркеу (ай дискісінің күндізгі бөлігінде) Айдың күн сәулесімен жарықтандырылған бетінің жалпы фонында олардың қарама-қайшылығының төмендігі қиынға соғады. Жұмыста ай дискісінің немесе оның бөліктерінің бейнелерінде люминесценттік шамдардың контрастын арттыруға мүмкіндік беретін әдіс физикалық негізделеді және егжей-тегжейлі пысықталды. Әдіс алынған нәтижелердің объективтілігін қамтамасыз ете отырып, суреттерді автоматтандырылған өңдеуді енгізуді көздейді.

Түйін сөздер: қысқа мерзімді ай құбылыстары, ай жер қойнауының дегазациясы, люминесценция, сутегі бальмерлік желілері, қысқа мерзімді ай құбылыстарының мониторингі, бейнелердің контрасты, интерференциялық сүзгілер, бейнелерді сандық өңдеу.

A.A. Solodovnik, B.M. Useinov, A. N. Kozhakhmetova, A. E. Scriabin
M. Kozybaev North Kazakhstan State University
buseinov@gmail.com

DEVELOPMENT OF REGISTRATION METHODS FOR SHORT-TERM LUNAR PHENOMENA OF LUMINESCENT TYPE

Abstract. Various studies of the moon are currently becoming more and more relevant in the light of the programs developed by the leading space powers to include this celestial body and the circumlunar space in the sphere of not only scientific but also practical interests. In this regard, it is impossible to ignore the phenomenon of transient lunar phenomenon (TLP), the very existence of which cannot be ignored in the implementation of lunar manned programs. The proposed work is aimed at solving the most important problem in the complex problem of studying TLP – their registration. It is necessary to clarify the variety of physical causes of short-term lunar phenomena. Out of a fairly wide range of such phenomena, we have identified the most poorly studied ones – luminescent clays. Their occurrence can be associated either with the degassing of the lunar interior, or with collisions with the lunar surface of impactors containing mainly volatile substances. Registration of these TLP (in the daytime part of the lunar disk) is complicated by their low contrast against the General background of the Sunlit surface of the moon. In this paper, a method that allows increasing the contrast of luminescent glow on images of the lunar disk or its parts is physically justified and elaborated in detail. The method involves the introduction of automated image processing, thereby ensuring the objectivity of the results obtained.

Keywords: transient lunar phenomenon, degassing of the lunar interior, luminescence, Balmer lines of hydrogen, monitoring of the TLP, image contrast, interference filters, digital image processing

Введение

Изучение Луны, как небесного тела в последнее время приобретает наряду с традиционной для астрофизики общенаучной (или фундаментальной) значимостью всё более выраженную практическую составляющую. Особенно наглядно этот тезис подтверждают примеры многочисленных миссий орбитальных и посадочных космических аппаратов. Точнее тех задач, которые ставились и ставятся перед этими миссиями. Ни для кого не секрет, что в перспективе ближайшего десятилетия данные, полученные в их ходе, должны лечь в основу планирования пилотируемых экспедиций на Луну, нацеленных на развитие лунной научно-космической, инженерной и производственной инфраструктуры.

Неоднократно в научных литературных источниках обсуждались условия пребывания человека на Луне, которые в значительной своей части несовместимы с жизнью без применения широкого спектра защитных сооружений, автономных мобильных средств, индивидуальных систем жизнеобеспечения [1-2]. В отличии от «привычно-опасных» для космонавтов условий открытого пространства обстоятельства пре-

бывания человека на Луне смягчаются только наличием тяготения или твёрдой почвы под ногами, но зато усугубляются термическими параметрами лунного дня.

Однако, вопрос о пребывании человека на Луне настолько серьёзен, что требует тщательного изучения как можно более широкого перечня факторов, способных породить угрозы его жизни. Большая часть из них, скорее, будет порождением внешних влияний, поскольку Луна, например, не отмечена особой тектонической, а тем более вулканической активностью [3]. С другой стороны, действие космических факторов может даже усиливаться на поверхности безатмосферного небесного тела. Так метеороиды, опасные в открытом космосе только в случае прямого попадания в станцию или в человека, при ударе о поверхность Луны могут породить массу опасных осколков. Потоки жёсткого электромагнитного излучения или быстрых заряженных частиц, опасные для человека сами по себе, на Луне могут породить вторичные эффекты, представляющие угрозу для жизни или здоровья человека.

Но, как известно, указанные выше внешние факторы способны обнаруживать своё действие, вызывая появление целого

спектра феноменов, именуемых кратковременными лунными явлениями (КЛЯ – в дальнейшем) [1-2]. Таким образом, изучение природы этих явлений можно связать непосредственно с решением глобальной задачи освоения Луны. Первым этапом в изучении КЛЯ, который в силу ряд причин далёк от полноты реализации, является их максимально эффективная регистрация.

Обоснование развития методов регистрации кратковременных лунных явлений

В настоящее время наблюдателями успешно регистрируются кратковременные лунные явления вспышечного типа, порождаемые столкновениями с Луной метеороидами. Яркость и обусловленная этим высокая контрастность таких вспышек (последняя объясняется концентрацией энергии в очень ограниченной области) позволяет фиксировать их как на ночной, так и на дневной части лунного диска, посредством использования самой доступной и простой аппаратуры. Это обстоятельство позволило даже использовать данные наблюдений импактных КЛЯ в качестве своеобразного индикатора текущего состояния активности различных метеорных потоков.

В то же время регистрация КЛЯ, представляющих собой свечения различного цвета довольно значительных участков лунной поверхности, представляет собой гораздо более сложную задачу. По мнению авторов КЛЯ такого типа имеют люминесцентную природу и проблема их фиксации возникает потому, что степень концентрации энергии излучения здесь значительного ниже, чем при импактных явлениях.

В результате применения модельного подхода к изучению КЛЯ люминесцентного типа нами было показано, что замечаемость явлений увеличения яркости отдельных участков лунной поверхности при телескопических визуальных наблюдениях Луны или визуальном же просмотре видеозаписей мониторинга лунного диска определяется рядом оптических и геометрических параметров [10]. Прежде всего, речь идёт об уровне контрастности участка с увеличенной яркостью по сравнению с окружающим «фоном». При этом 100% эффективность ре-

гистрации КЛЯ достигается при уровне их контраста не менее 15%. Важным фактором является и угловой размер участка, на котором наблюдается увеличение потока излучения. Критичным для обнаружения КЛЯ является минимальный размер 10" - 15". С дальнейшим увеличением размера площадки КЛЯ эффективность его регистрации растёт. Кроме этих характеристик, на возможность визуальной регистрации КЛЯ влияет их цвет и длительность протекания явления (рисунок 1).

Указанные выше моменты могут рассматриваться как определяющие критерии для постановки и решения исследовательской задачи по развитию методов регистрации люминесцентных КЛЯ. Идеальным вариантом при этом был бы полный отказ от субъективизма визуального анализа лунных изображений. Но промежуточным технологическим этапом, по нашему мнению, обязательно должно стать повышение контраста изображений областей возможных люминесцентных свечений на лунном диске и, прежде всего, в его дневной части. Физическим основанием этому является малая контрастность КЛЯ люминесцентного типа, с трудом регистрируемых человеческим глазом, предел контрастной чувствительности которого составляет примерно 5%. Если происхождение таких явлений обусловлено воздействием коротковолновой части спектра солнечного излучения, то интенсивность свечений областей КЛЯ в непрерывном спектре едва ли будет превосходить поток излучения рассеиваемого окружающей лунной поверхностью. Как было показано ранее [3-9], цвета свечений большинства КЛЯ можно связать с излучением таких атомов как водород, кислород, натрий, возбуждаемых общим ультрафиолетовым излучением Солнца, его короны на ночной части диска Луны, или потоками солнечного ветра. Обоснованием этого вывода стало соотношение частоты свечений в красной, синеголубой и фиолетовой части спектра весьма сходное с бальмеровским декрементом линий водорода [4-5].

Таким образом, возникает необходимость перехода к получению изображений лунного диска или отдельных его частей не в интегральном потоке излучения, а в выделенных

участках спектра. Таковы могут стать области участки спектра центрированные на линии серии Бальмера водорода, прежде всего близ H_α – свечения красного цвета, H_β – свечения сине-голубого цвета и в довольно широкой области бальмеровского скачка – фиолетовые свечения (линии H_γ , H_δ , H_ϵ). Кроме того желательны выделить окрестности запрещённых линий кислорода, определяющих свечения зелёного цвета, и линий дублета натрия – жёлтые.

Технически осуществить это свечения удобнее всего с использованием многослойных интерференционно-поляризационных фильтров (ИПФ), которые имеют наименьшую ширину выделяемой в спектре области при достаточно высоком коэффициенте пропускания. Такие фильтры доступны для приобретения (особенно распространены фильтры для линий водорода и кислорода), имеют малую толщину при достаточно больших размерах и потому легко могут встраиваются в приёмники оптического излучения.

Оценим ожидаемое время экспозиции при получении изображений Луны с использованием ИПФ. При регистрации диска Луны в интегральном свете с помощью матричных приёмников излучения, установленных на телескопе, длительность экспозиции обычно составляет около 0.01 секунды.

Применение фильтров потребует увеличения этого времени пропорционально уменьшению используемого спектрального интервала и коэффициенту пропускания света фильтром. Полагая ширину области чувствительности приёмника равной 400 нм, а ширину полосы вырезаемой фильтром 4 нм, получаем ослабление потока излучения в 100 раз. С учётом коэффициента пропускания фильтра эта величина может достигнуть от 500 до 1000. Тогда время экспозиции возрастёт от единиц до десятка секунд. Конечно, это не доставит затруднений наблюдателю, располагающему телескопом с качественным ведением. Вопрос в другом, устроит ли нас такая длительность экспозиции с точки зрения продолжительности существования люминесцентных КЛЯ? Здесь мы можем полагаться на свидетельства наблюдателей прошлых лет, отмечавших факты появления КЛЯ с длительностью порядка нескольких минут [6, 10].

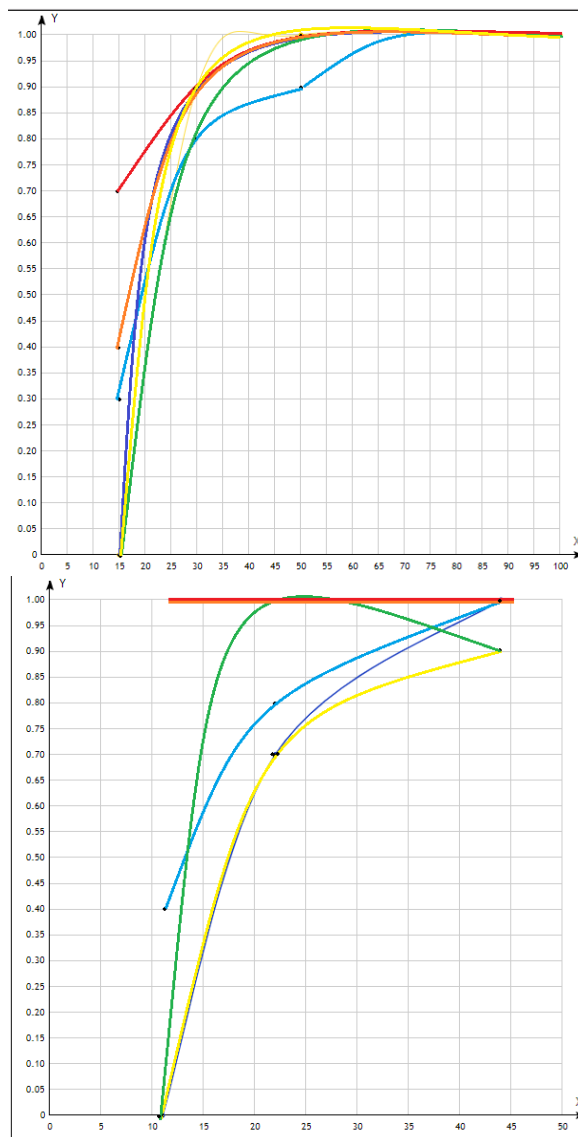


Рисунок 1 – Зависимость вероятности обнаружения люминесцентных свечений разного цвета в зависимости от их яркости (сверху) и размера (снизу).

Не менее важным является подход к обработке полученных изображений лунного диска с целью выявления на них участков люминесцентных свечений. Визуальный анализ изображений следует оставить, чтобы избавиться от возможной субъективности выводов. В наше время разработаны различные алгоритмы, позволяющие находить элементы изображений, изменяющие свою яркость во времени или положение в пространстве. Их применение актуально, например, в задачах поиска переменных звёзд, астероидов и комет, новых и Сверхновых звёзд. Сходными свойствами с ними,

по-видимому, обладают и люминесцентные свечения на поверхности Луны. Конечно, едва ли следует рассчитывать на возможность применения готовых программ, но и надёжно работающие алгоритмы поиска аномалий – существенно помогут в реализации информационной части проекта обнаружения КЛЯ. При рассмотрении перспективных методов анализа изображений не следует пренебрегать и опытом, полученным при визуальном подходе к регистрации КЛЯ.

Дискуссия

Заслуживает внимания один из известных приёмов выявления оптических флуктуаций яркости участков лунной поверхности, базирующийся на инертности человеческого зрения. Образно его можно назвать методом «Листания». Сущность подхода заключается в том, что программа в оптимальном темпе отображает на экране последовательность «стандартных» и исследуемых изображений полного диска Луны или отдельных его участков. При этом для снижения влияния побочных эффектов оба изображения должны соответствовать одинаковым фазам Луны и, по возможности, одинаковому углу либрации лунного диска. В том случае, если на анализируемом изображении будет найдена область пониженной или повышенной яркости, при многократном сравнении двух картин наблюдатель заметит пульсации яркости или цвета, сходные с эффектом мультипликации.

Идея этого метода очень проста и сравнительно легко реализуема. Он имеет и то достоинство, что позволяет снизить влияние субъективности за счет того, что при применении больших экранов в анализе изображений могут одновременно участвовать несколько независимых наблюдателей. Его применение уже позволило выявить появление на диске Луны кратковременных лунных явлений, в том числе, и в практике работы ЦАИ СКГУ [6]. Но, как и в случае других исследователей, это всякий раз были именно потемнения на лунном диске. Свечения же достоверно не обнаруживались. Причина такой селекции связана с различием контраста этих двух типов КЛЯ. Потемнения, вызванные появлением, к примеру, газово-пылевых выбросов имеют заметный

контраст сразу во всех участках спектра и в интегральном свете, соответственно. Люминесцентные же свечения, возникающие в отдельных узких участках длин волн, требуемого для регистрации глазом контраста (не менее 5%) достигают лишь в редких случаях. Как мы уже отметили выше, для их обнаружения контраст следует искусственно повысить. Но при таком подходе желательно и возможно полностью отойти и от визуального анализа изображений.

Нами предлагается реализовать следующий алгоритм регистрации люминесцентных свечений, который можно считать основой нового метода их изучения:

- получение «стандартных» цифровых изображений диска Луны или отдельных исследуемых областей в заданных участках длин волн, с заданным угловым или пространственным разрешением, в том числе для различного набора лунных фаз;
- получение последовательности изображений Луны или участков её поверхности в режиме мониторинга с применением ИПФ и цифровых приёмников;
- программное сравнение фотометрических разрезов, заданной ширины, «стандартных» и изучаемых изображений Луны с целью оперативного выявления их статистически значимых отличий с фиксацией координат заподозренных как КЛЯ участков;
- детальное изучение фотометрических особенностей участков, заподозренных как КЛЯ, включающее анализ разрезов различной ширины и в разных участках длин волн;
- формирование массива данных о параметрах выявленных КЛЯ – координат, контраста, цветности.

Что касается первого этапа работы, то он реализуется однократно и на выходе мы получаем набор изображений Луны, используемых в дальнейшем в качестве объектов сравнения. Оптические характеристики таких изображений должны быть не хуже, чем у изображений, получаемых в ходе мониторинга КЛЯ. Пристального внимания заслуживает вопрос о том, как учесть изменчивость вида Луны по мере смены фаз освещённости лунного диска. Полагая, что одно наблюдение от другого отделяется минимальным интервалом в одни сутки, желательно иметь набор из 15 (по числу дней лу-

нации) стандартных изображений. Впрочем, если учесть тот факт, что начиная от новолуния в течение 2-3 суток, освещённая часть лунного серпа остаётся очень узкой (аналогично и перед новолунием), количество стандартных изображений дневной части диска можно сократить до 10-12.

Мониторинг КЛЯ логично разделить на два подхода: получение серии изображений теневой (ночной) части лунного диска и, соответственно, дневной его части. В первом случае какие-либо ухищрения, направленные на увеличение контраста КЛЯ не понадобятся в силу очевидных причин. То есть регистрация КЛЯ в теневой части диска Луны становится полностью самостоятельной задачей и в нашей работе решение её не рассматривается.

Наиболее проблематична реализация третьего этапа алгоритма. Здесь мы должны предварительно определиться с угловым (пространственным) разрешением, которое следует использовать при анализе изображений. Разумеется, оно не должно быть слишком грубым, чтобы не упустить возможные свечения малых размеров. С другой стороны и завышать разрешение не имеет смысла, поскольку слишком подробный анализ картины снизит производительность программы. Кроме того при получении изображений Луны в условиях университетской обсерватории едва ли можно достичь разрешения лучшего 1.5 – 2.0 секунд дуги, что определяется атмосферными факторами. Таким образом, ограничимся угловым разрешением в 2 секунды дуги (ему соответствует размер деталей на Луне в 4 – 6 км).

В дальнейшем работа программы сводится к получению фотометрических профилей (распределение яркости элементов изображения вдоль столбца/строки) протяженных участков диска изучаемого изображения Луны и сравнения с примерно такими же по расположению профилями стандартного изображения. Близкое соответствие профилей (в пределах отклонений задаваемых пользователем) будет означать отсутствие свечений или потемнений в данном участке спектра. И наоборот, наличие статистически значимых отклонений позволит заподозрить развитие КЛЯ в данном месте лунного диска (положение КЛЯ определится

номерами пикселей, соответствующих избытку свечения). Обнаружение КЛЯ позволит перейти к его детальному изучению.

Какие сложности могут встретиться на пути реализации такого подхода. Первое, что следует учесть это единый масштаб изображений лунного диска, угловые размеры которого меняются от перигея к апогею в пределах 10%. Второе важное обстоятельство это номер столбца/строки с которого следует начать фотометрию. Представим себе изображение диска Луны, вписанное в квадратную матрицу. Тогда первые столбцы/строки будут содержать минимум потенциально полезной информации. Впрочем, это просто технический вопрос, который можно отложить на время. Наибольшую проблему для точного анализа представит учёт либраций Луны по широте и долготе. Выше мы уже указали на возможное её преодоление путем создания совокупности стандартных изображений Луны, полученных при разных значениях угла либрации. Конечно же, существует возможность расчётного учета влияния этого фактора при сравнении текущего и стандартного фотометрического разреза.

Как оценить возможности реализации такого подхода с точки зрения производительности компьютерной техники? У авторов есть некоторый опыт фотометрической обработки изображений полей серебристых облаков когда программа попиксельно определяет площадь занятую участками повышенной яркости. В этом случае время обработки изображения размером 1500x1500 пикселей при градации их яркости от 0 до 1000 составляло не более 1-2 минут. Тогда для обработки массива изображений, полученных за каждый час мониторинга (их будет около 200) потребуется порядка трёх часов работы программы. Наиболее длительные ряды наблюдений могут быть получены в зимние ночи вблизи полнолуния (до 10 часов). С учётом того, что ясная погода бывает далеко не каждую ночь оперативная обработка большого массива изображений всё же вполне реальна.

Выводы

Подводя итоги проделанной работы, мы считаем, что регистрация люминесцент-

ных свечений на диске Луны вполне реализуемая задача с условием применения обычных цифровых приёмников излучения и узкополосных фильтров, центрированных на указанные выше области спектра. На настоящем этапе на первый план выходит создание компьютерной программы матричной обработки изображений лунного диска, полученных в ходе его мониторинга. Однако, это совершенно иная задача, реализации которой в последовательности, которую мы описали как техническое задание, следует посвятить отдельное исследование. Главным итогом проделанной работы мы полагаем возможность перехода от субъективно-любительского подхода в изучении кратковременных лунных явлений к строго научному их исследованию.

Список литературы:

1. Дарлинг Д. Кратковременные лунные явления – Руководство наблюдателя. <http://old.astronomer.ru> (актуальна 30.04.2019).
2. Камерон У. Кратковременные лунные явления // *Sky & Telescope*. – 1991. – 268 с.
3. Галкин И.Н., Геофизика Луны. – М.: Наука – 1978. – 173 с.
4. Солодовник А.А., Балябкина М.В. Особенности пространственного распределения кратковременных лунных явлений // Международная научно-практическая конференция: Достижения и перспективы исследований небесных тел и Земли. – Петропавловск: СКГУ. – 2014. – С. 22 – 27.
5. Солодовник А.А., Анисимов В.П. Исследование природы кратковременных лунных явлений: некоторые статистические свойства КЛЯ // *Наука и современность*. – 2013. – № 23. – С. 14 – 18.
6. Солодовник А.А., Сартин С.А., Алёшин Д.В., Артёмов Д.О., Нагуманов К.А., Бимендинова Л.Д. Проведение наблюдений поверхности Луны с целью поиска кратковременных лунных явлений // *Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы физики небесных тел и плазменного состояния вещества. Эксперимент и математическое моделирование»*. – Петропавловск: СКГУ. – 2011. – С. 56 – 59.
7. Солодовник А.А., Леонтьев П.И., Анисимов В.П., Балябкина М.В. Исследование природы кратковременных лунных явлений. Часть 3. Солнечная активность как фактор возникновения КЛЯ люминесцентного типа // *Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции «Наука и современность – 2013»*. – Новосибирск: ЦРНС. – 2013. – С. 25 – 29.
8. Солодовник А. А., Анисимов В.П. Изучение кратковременных лунных явлений в СКГУ: текущее состояние и перспективы // *Материалы межвузовской студенческой конференции «Конституция республики Казахстан – правовой феномен современности»*. – Петропавловск: СКГУ. – 2015. – С. 6.
9. Стриганов А.Р., Свентицкий Н.С. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизированных атомов. – М.: Атомиздат. – 1966. – 899 с.
- Солодовник А.А., Усеинов Б.М., Кожамбетова А.Н., Жукешов А.М., Ибраев Б.М., Амренова А.У., Габдулина А.Т., Молдабеков Ж.М. Информационное моделирование кратковременных лунных явлений как средство развития методов их регистрации // *Проблемы эволюции открытых систем* – 2019. Т2. Выпуск 21. – С. 66 – 74.

Принято к печати 22.10.2021