

Лунная обсерватория для мониторинга и исследования энергетического дисбаланса Земли и климата

ГАО РАН совместно с ААНИИ

Руководитель проекта – зав. сектором, д.ф.-м.н. Х.И. Абдусаматов

Решением Объединенного заседания секций «Внеатмосферная астрономия» Совета РАН по космосу и КНТС Роскосмоса от 15 июня 2020 г. проект включен В РОССИЙСКУЮ ЛУННУЮ ПРОГРАММУ.

Лунная обсерватория (ЛО), состоящая из системы двух совершенно одинаковых компактных специальных оптических телескопов-роботов, функционирующих как единый телескоп, предназначена для решения следующих основных задач:

- Мониторинг мощности потоков энергий отраженного планетой солнечного излучения и исходящего собственного теплового излучения в спектральных диапазонах 0.2-4 и 4-50 мкм соответственно в ночное время непрерывно в течение более 94% лунных суток с погрешностью $\approx 0.1\%$ для исследования энергетического дисбаланса Земли и климата за период более 15 лет;
- Мониторинг изменения мощности потока собственного теплового излучения Земли в диапазоне 8-13 мкм основного окна прозрачности атмосферы для исследования и выяснения вклада парниковых газов в климатические изменения;
- Впервые изучение важнейшего климатообразующего физического процесса по мониторингу изменения распределения мощности потока энергий излучения по широтам; их динамики между низкими и высокими широтами;
- Исследование облачного и снежно-ледяного покровов, растительности, концентраций аэрозолей и озона, и др. каждом регионе и во всей планете по мониторингу в 10 отдельных узких полосах диапазона 0.3-3 мкм;
- Мониторинг и изучение величины интегрального среднегодового энергетического дисбаланса между Землей и космосом (ЭДЗ) – накопления тепла или его дефицита в Мировом океане с использованием известных значений СП, установление их зависимости от циклических вариаций солнечной постоянной (СП);
- Исследование вариаций альбедо Бонда планеты и физических параметров атмосферы и поверхности в зависимости от циклических изменений СП;
- Определение физических механизмов формирования, причины и закономерности изменения климата, направления и глубины его изменений;
- Впервые создание недостающей, крайне необходимой, наиважнейшей фундаментальной базы высокоточных данных ЭДЗ и его составляющих;
- Поиск экзопланет непрерывно в свободное дневное время последовательно системой двух телескопов-роботов у солнцеподобных и относительно ярких звезд, размером начиная с суперземель, методом транзитов в диапазоне 0.2-4 мкм при значительно увеличенной точности позиционирования.

Решение поставленных задач станет научным прорывом фундаментальной и прикладной важности в установлении физических причин и механизмов изменений климата, определении закономерностей его формирования и физики солнечно-земных связей, а также в наиболее надежном прогнозировании его грядущих изменений.

Климат – один из самых ценных ресурсов на Земле с точки зрения существования человека и его природного окружения, а его глубокие изменения – одно из самых серьезных глобальных проблем для человечества нашего времени и для будущих поколений. Фундаментальным показателем,

определяющим состояние глобальной энергетики климатической системы и термического состояния всей планеты в целом, является долговременное изменение абсолютного значения ЭДЗ. Высокоточный мониторинг ЭДЗ – важнейшая проблема в исследованиях изменения глобального климата и обуславливающих эти изменения физических механизмов. **Вариация глобального ЭДЗ независимо от ее причин за период порядка 30 лет и более – основная мера последующего изменения климата и глобальной температуры.** Чрезвычайно сложная и нелинейная климатическая система зависит от комплекса многочисленных физических процессов, происходящих за период порядка 30 лет и более, в подсистемах океан-суша-атмосфера, на которые, в свою очередь, влияют множество различных факторов, главным образом, квазидвухвековое изменение СП. Солнце, будучи единственным мощным источником энергии для Земли, является главным и основным фактором, управляющим климатической системой. Долговременные репрезентативные данные об изменениях глобальной энергетики климатической системы имеет основополагающее значение для исследования закономерностей временной изменчивости климата. Поскольку даже самые незначительные долговременные (≥ 30 лет) циклические изменения СП могут иметь серьезные последствия для климата, принимая во внимание не только прямые, но и не менее важные последующие вторичные влияния причинно-следственных эффектов обратной связи.

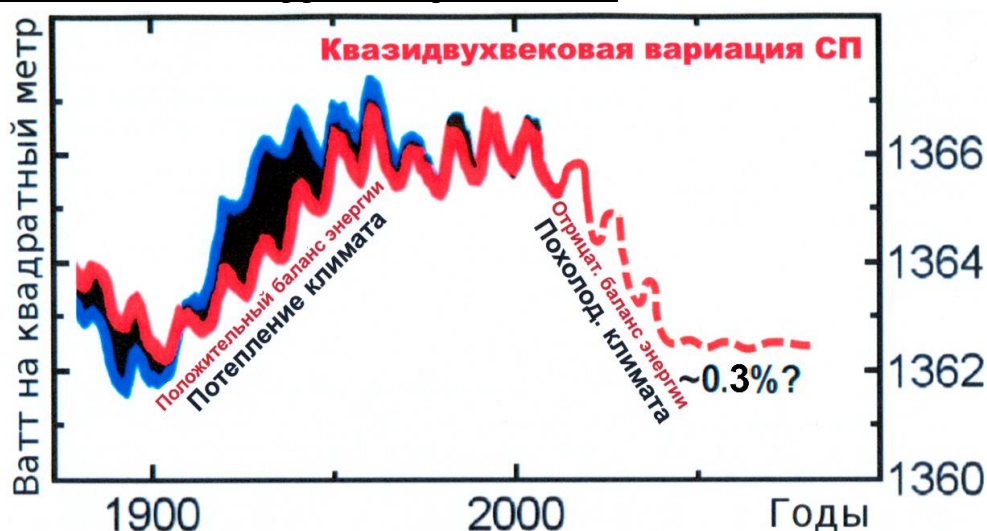


Рис. 1. Квазидвухвековая вариация СП и наш прогноз ее последующих изменений до конца XXI века (пунктирные линии), и вариаций ЭДЗ и климата: *Abdussamatov H.I. Energy imbalance between the Earth and space controls the climate // Earth Sciences. 2020. Vol. 9, No. 4, pp. 117-125 doi: 10.11648/j.earth.20200904.11*

Астроном William Herschel в 1801 г. установил общепризнанный ныне важный аспект солнечного климатического воздействия: земная температура снижается в длительные периоды низкой солнечной активности (СА) и повышается в периоды высокой СА. Физическая природа этих колебаний температур, впервые установленная нами, определяется тем, что на фазе роста (за период 35-65 лет) квазидвухвековой вариации СП, благодаря термической инерции, обеспечивается накопление дополнительной (избыточной) энергии в Мировом океане (далее Океан), а на фазе снижения СП – увеличение дефицита энергии (рис. 1) (поскольку 11-летние и квазидвухвековые циклические вариации СП и СА, будучи следствием одних тех же глубоких физических процессов, происходящих в глубоких недрах Солнца, являются сопутствующими явлениями и имеют взаимосвязанный и скоординированный идентичный ход как по фазе, так и по амплитуде). В результате образуется длительный ЭДЗ, что ведет к последующему соответствующему изменению температуры и климата: на фазе роста СП квазидвухвекового цикла планета постепенно нагревается, а на фазе ее снижения – охлаждается. С учетом термической инерции Океана этот эффект сдвигается на 30 ± 10 лет. Только прямое воздействие квазидвухвековой вариации СП $\sim 0.3\%$ ($\Delta S_{\odot} \approx 4 \text{ Вт/м}^2$: *Shapiro et al. 2011. Astron. Astrophys. 529, A67; Egorova et al. 2018. Astron. Astrophys. 615, A85*) без учета других вкладов и при неизменности альбедо Бонда $\Delta A_{\text{БЕ}} = 0$ ведет к приращению температуры на $\approx 0.2 \text{ К}$. Однако такое незначительное приращение температуры чрезвычайно важно для триггерного механизма последующих воздействий вторичных причинно-следственных эффектов обратной связи, которые в фазе спада СП **множественно** усиливают наступившее незначительное похолодание, вызванное прямым воздействием длительного дефицита СП, посредством:

- Существенного увеличения площади снежно-ледяных покровов, а также изменения физических свойств земной поверхности и атмосферы и, как следствие, значительного увеличения потерянной Землей дополнительной доли поступившей солнечной энергии;
- Снижения концентрации основного парникового газа (ПГ) – водяного пара и других ПГ в атмосфере в соответствии с соотношением Клапейрона-Клаузиуса и законом Генри;
- Усиления (расширения) атмосферного пропускания теплового излучения земной поверхности через окно прозрачности;
- Уменьшения «темной» поверхности Океана, вызванного снижением уровня воды вследствие наращивания массы ледников и сжатия воды при охлаждении.

Итак, глобальный земной климат определяется исключительно долговременным изменением глобального теплового состояния (теплосодержания) всей планеты, абсолютной величины ЭДЗ.

Научно обоснованные долговременные слежения за изменением климата и прогноз его грядущих глубоких изменений **в перспективе** должны основываться на высокоточных непрерывных репрезентативных однородных данных об **ЭДЗ, получаемых в течение многих десятилетий и сотен лет.** Это непременно требует **создания и использования новых долгосрочно стабильных фиксированных космических платформ** для непрерывного обзора всей земной поверхности. Единственным местом в космосе, обеспечивающим наиболее надежные и долговременные прямые прецизионные (с погрешностью $\approx 0.1\%$) измерения вариаций комплекса глобальных климатических параметров, **является видимая поверхность Луны.** Твердая ее поверхность и медленное незначительное ее колебание при движении вокруг Земли делают **Луну идеальной стабильной платформой** для установки оптических телескопов-роботов и точного измерения ЭДЗ в лунное ночное время при температуре порядка 100 К.

Единственным и самым надежным способом предсказания глубины и точного времени грядущего изменения климата является исследование долгосрочных вариаций термического состояния планеты – разности между количествами поступающей на внешние слои атмосферы солнечной энергии и ушедших обратно в космос суммарных энергий отраженного и рассеянного планетой солнечного излучения и исходящего собственного теплового излучения (рис. 2). Измерения уходящих в космос суммарных лучистых потоков должны проводиться со всей системы поверхность-атмосфера, т.е. на внешней границе атмосферы. Тогда это и будут чистые приходные и расходные части среднегодового энергетического бюджета Земли, а их разность (дисбаланс) определит источники и стоки энергии в нижележащей системе. На основе их долговременных вариаций крайне важно исследовать наиболее эффективный и важнейший глобальный климатический параметр: а именно изменения величины ЭДЗ.

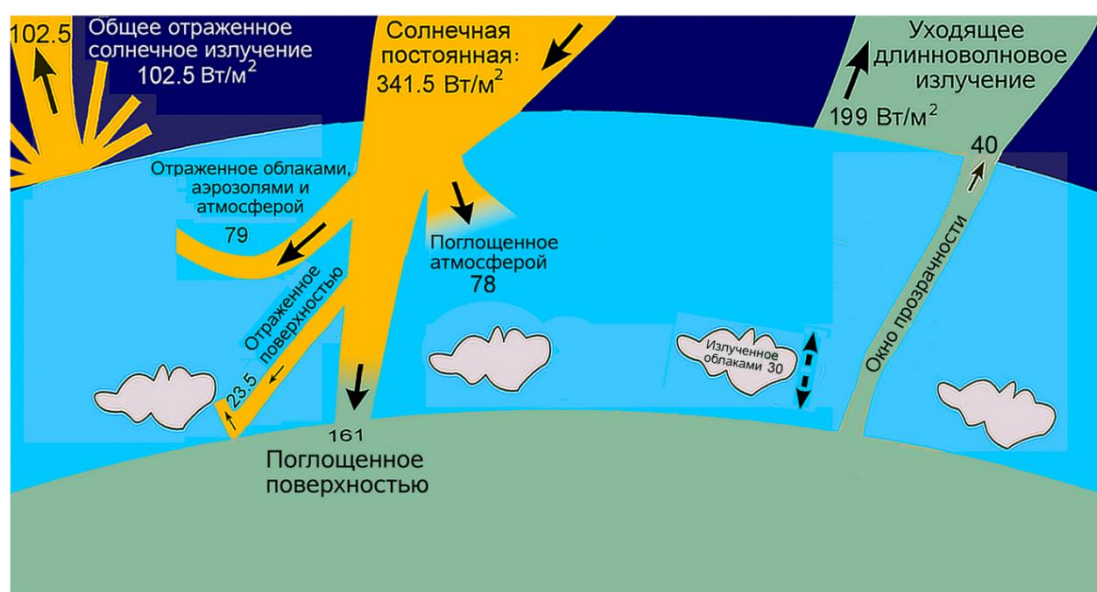


Рис. 2. Поступающие и уходящие глобальные удельные потоки энергии на внешней границе атмосферы в равновесном состоянии среднегодового энергетического баланса Земли.

Актуальность исследований, выяснение механизмов и физических причин изменений глобального климата с каждым годом резко возрастает и приобретает большое практическое значение, поскольку в течение ближайших десятилетий высока вероятность ускорения изменений глобальных характеристик климата вследствие долговременного отрицательного ЭДЗ, вызываемого грядущим наступлением глубокого квазидвухвекового минимума СП. Эти изменения неизбежно отразятся на жизни людей, на состоянии животного и растительного мира практически во всех регионах планеты, а в некоторых из них станут ощутимой угрозой для благополучия населения, устойчивого развития экономики и пр. Грядущее глубокое изменение климата, безусловно, окажет значительное влияние также и на состояние мировой экономики, социально-экономическую ситуацию во всем мире, общества и национальной безопасности практически всех стран и будет диктовать направление изменения природных процессов на поверхности и в атмосфере. Оно станет наиважнейшим вызовом и приоритетной проблемой для всего мира и определит основные события в политике, экономике и других важнейших сферах деятельности всего человечества на ближайшие десятилетия. Проблема грядущего глубокого изменения климата – это не только научная проблема планетарного масштаба, стоящая перед человечеством, но и экономическая и политическая проблема, от решения которой зависит будущее мировой цивилизации. Это требует разработки наиболее надежных методов прогнозирования его грядущих глубоких изменений на основе исследования наиболее эффективных глобальных параметров, характеризующих и определяющих климат (**Климатическая доктрина РФ**, утвержденная президентом РФ 17.12.2009 г. № 861-рп). Установление физических причин изменений глобального климата и своевременное создание наиболее надежных методов прогнозирования его грядущих глубоких изменений позволят предупредить и максимально ослабить опасные для национальных интересов последствия глобального ухудшения природных условий и климата, социально-экономической и климатически обусловленных изменений геополитической ситуации. Исследование динамики глобальных параметров, определяющих ЭДЗ и, следовательно, изменение климата, национальными средствами может сформировать не только независимую позицию по климатической проблематике, но и обеспечить геополитические интересы России. Долговременное (в течение периода более 11-летнего солнечного цикла) исследование динамики важнейших глобальных параметров, определяющих изменения ЭДЗ, теплового режима и климата планеты, сможет сформировать физически обоснованную позицию по климатической проблематике.

Чтобы надежно следить за изменением климата и прогнозировать его грядущие изменения необходимы непрерывные однородные и высокоточные данные. СП, альbedo Бонда и мощность собственного теплового излучения Земли являются фундаментальными параметрами, определяющими энергетический бюджет нашей планеты, и, следовательно, ее глобальный климат. Фундаментальное значение для исследования климата имеет долговременное изменение абсолютного значения ЭДЗ, который определяется разностью между мощностями среднегодовых потоков энергий, поступивших на внешние слои атмосферы (СП), и потоков, ушедших в космос за счет отражения от поверхности и атмосферы (альbedo Бонда), а также собственным тепловым излучением планеты:

$$E = \frac{(S_{\odot} + \Delta S_{\odot})}{4} - \frac{(A_{BE} + \Delta A_{BE})(S_{\odot} + \Delta S_{\odot})}{4} - \varepsilon \sigma (T_p + \Delta T_p)^4, \quad (1)$$

где E – удельная мощность изменения теплосодержания планеты, S_{\odot} – СП, ΔS_{\odot} – приращение СП, A_{BE} – альbedo Бонда Земли, ΔA_{BE} – приращение альbedo Бонда Земли, ε – излучательная способность (степень черноты) системы подстилающая поверхность-атмосфера, σ – постоянная Стефана-Больцмана, T_p – термодинамическая планетарная температура, ΔT_p – приращение планетарной термодинамической температуры. Планетарная термодинамическая температура представляет собой среднюю по всей земной поверхности и атмосферы температуру. Альbedo Бонда (интегральное сферическое альbedo) Земли как планеты – A_{BE} определяется как отношение доли потока солнечного излучения, отраженного и рассеянного всей сферической системой поверхность-атмосфера под всеми фазовыми углами (усредненного по всем длинам волн) в космическое пространство, к полному потоку солнечного излучения, падающему на внешние слои атмосферы. Фазовый угол α – угол между направлением лучистого потока, падающим от Солнца на Землю, и потоком, отразившимся от нее в направлении приемника излучения космического аппарата (КА) (изменяется в пределах от -180° до $+180^\circ$). Альbedo Бонда Земли связано с геометрическим альbedo A_{gE} соотношением

$$A_{BE} = QA_{gE}, \quad (2)$$

где Q – фазовый интеграл, определяемый как

$$Q = \int_{-\pi}^{\pi} f(\alpha) d\alpha, \quad (3)$$

где $f(\alpha)$ – фазовая функция под углом α . Фазовая функция (отношение наблюдаемой КА освещённости, создаваемой планетой в данном направлении α , к создаваемой в сторону Солнца $\alpha = 0^\circ$), меняющаяся на всем диапазоне фазовых углов α от -180° до $+180^\circ$, принимающая значение от 0 до 1, выражающая коэффициент с которым изменяется интенсивность отраженного и рассеянного от всей сферической системы поверхность-атмосфера солнечного излучения обратно в космическое пространство в зависимости от фазового угла α . Нормировка выбирается так, чтобы при фазовом угле 0° (полностью освещенная полусфера Земли) фазовая функция достигала максимального значения 1. Геометрическое (плоское) альbedo определяется отношением освещённости, создаваемой планетой в полной фазе, к освещённости, которую создал бы плоский абсолютно белый экран того же размера, что и Земля, расположенный на её месте перпендикулярно лучу зрения и солнечным лучам. Точная среднегодовая величина альbedo Бонда Земли ценна, и сама по себе. Только зная точную его величину с использованием известных данных о СП можно определить точную среднегодовую величину поглощенной планетой солнечной энергии. Итак, чтобы точно вычислить значение альbedo Бонда Земли необходимо наблюдать планету под всеми возможными фазовыми углами (угол Солнце-Земля-КА) и измерять удельную мощность отраженного и рассеянного в космос солнечного излучения всей сферической системой поверхность-атмосфера во всех направлениях на внешней границе атмосферы, определять зависимость фазовой функции Земли от фазового угла, а также получать значений геометрического альbedo, которое не зависит от фазового угла. Точная величина СП будет получена из результатов измерений других космических экспериментов (КЭ). Уходящая в настоящее время в космическое пространство с внешней границы атмосферы среднегодовая удельная мощность общего отраженного и рассеянного солнечного излучения во всех направлениях, равное 102.5 Вт/м^2 , состоит из суммы двух уходящих с этого уровня в космос удельных мощностей отраженного всей поверхностью излучения ($\sim 23\%$) и всей атмосферой ($\sim 77\%$), а мощность уходящего в космос удельной мощности собственного длинноволнового излучения от внешних слоев атмосферы до поверхности Земли – 239 Вт/м^2 также состоит из суммы двух уходящих в космос удельных мощностей длинноволнового излучения всей поверхности ($\sim 17\%$) через окно прозрачности атмосферы и всей атмосферы ($\sim 83\%$) (рис. 2). Подавляющая часть ($\sim 96\%$) собственного длинноволнового (теплого) излучения планеты заключена в пределах длин волн от 4 до 40 мкм.

Альbedo Бонда планеты определяется тремя параметрами, осредненными по всей поверхности планеты: величинами альbedo атмосферы и земной поверхности, а также величиной пропускания атмосферы в полосе спектра солнечного излучения. Оно может быть выражено через оптические параметры поверхности и атмосферы в виде зависимости

$$A_{BE} = A_a + (1 - A_a) A_s \beta = A_s \beta + A_a (1 - A_s \beta), \quad (4)$$

где A_a – альbedo атмосферы, A_s – альbedo поверхности, β – пропускание атмосферы в спектре солнечного излучения. Приращение эффективной температуры Земли (ΔT_e), возникающего под воздействием приращений СП и альbedo Бонда Земли, определяется как:

$$\Delta T_e = \frac{\Delta S_\odot (1 - A_{BE} - \Delta A_{BE}) - \Delta A_{BE} S_\odot}{16\sigma T_e^3}. \quad (5)$$

Для оценки влияния на вариацию эффективной температуры Земли только приращения альbedo Бонда, полагая неизменной величину СП ($\Delta S_\odot = 0$), из (5) получим

$$\Delta T_e = -\frac{\Delta A_{BE} S_\odot}{16\sigma T_e^3}. \quad (6)$$

Соотношение относительных вкладов приращений СП и альbedo Бонда планеты в среднегодовой энергетический бюджет и в приращение эффективной температуры Земли определяется как

$$\frac{\Delta S_\odot}{S_\odot} = \frac{\Delta A_{BE}}{1 - A_{BE} - \Delta A_{BE}} \quad (7)$$

или при $S_\odot = 1366 \text{ Вт/м}^2$ и $A_{BE} = 0.30$

$$\Delta S_{\odot} = \frac{1366 \Delta A_{BE}}{0.7 - \Delta A_{BE}}. \quad (8)$$

Принимая известное значение эффективной температуры Земли, которое в настоящее время равно $T_e = 254.8$ К и СП $S_{\odot} = 1366$ Вт/м², из (6) при $\Delta S_{\odot} = 0$ получим

$$\Delta T_e = -91 \Delta A_{BE}. \quad (9)$$

Приращение альбеда Бонда на $\Delta A_{BE} = +0.0003$ (0.1%) приведет к снижению $\Delta T_e \approx -0.027$ К, что практически эквивалентно снижению величины СП на $\Delta S_{\odot} = -0.58$ Вт/м² (~0.04%). Поэтому **крайне важно измерить составляющие ЭДЗ с погрешностью порядка 0.1%**. Для оценок различия между приращениями приземной (с учетом времени ее запаздывания благодаря термической инерции Океана) и эффективной температур при малых их вариациях невелико. Итак, долговременное изменение альбеда Бонда, как и СП вносят определяющий вклад в вариации ЭДЗ и наряду с вариацией собственного теплового излучения Земли являются чрезвычайно важными характеристиками и потенциально мощными двигателями вариации климата. При этом изменение во времени среднегодовой энергии собственного теплового излучения Земли в космос вследствие медленного изменения ее теплосодержания всегда отстает от среднегодовой энергии поглощенного солнечного излучения, варьирующего с 11-летним и квазидвухвековым циклами, в течение периода времени 30 ± 10 лет, определяемого термической инерцией Океана (при глубине 750 ± 250 м его активного верхнего слоя). Поэтому поглощаемая планетой доля энергии солнечного излучения, вследствие ее циклических вариаций, всегда остается неравнозначной (не компенсированной) излучаемой Землей в космос собственной тепловой энергией. Это образует избыток или дефицит ЭДЗ. В результате 11-летней и квазидвухвековой циклических вариаций СП планета поглощает и излучает всегда неодинаковое количество среднегодовой энергии, т.е. приходные и расходные части среднегодового энергетического бюджета Земли всегда находятся в неравновесном состоянии $E \neq 0$, которое является естественным состоянием климатической системы и колеблется вокруг его квазидвухвекового равновесного. На фазе роста квазидвухвекового солнечного цикла 11-летние циклы, как правило, имеют меньшую продолжительность, а высота их максимума и среднециклическая абсолютная энергетическая мощность увеличиваются. Вследствие этого на фазе роста квазидвухвекового солнечного цикла (в течение 35-65 лет) Земля как планета получает больше солнечной энергии, чем отдает излучением в космос, и ее среднегодовой энергетический бюджет долговременно положителен ($E > 0$) (см. рис. 1). В результате такого длительного поглощения и накопления Океаном дополнительной солнечной энергии, поступающей в течение всей фазы роста квазидвухвекового цикла, планета может постепенно нагреваться. А в период всей фазы спада квазидвухвекового цикла, наоборот, среднегодовой энергетический бюджет Земли отрицателен ($E < 0$) и длительный (в течение 35-65 лет) дефицит поступающей солнечной энергии может вести к остыванию планеты.

Исследование долговременных вариаций величины ЭДЗ позволит надежно определять энергетическое состояние планеты, суммарную величину накопленного Океаном ежегодного избытка поступившей энергии или ее дефицита. Это, с учетом прогноза грядущих циклических вариаций величины СП, может достоверно определять и заблаговременно предсказать с высокой надежностью направление и глубину грядущего изменения климата: долговременный положительный ЭДЗ $E > 0$ ведет к потеплению, а долговременный отрицательный ЭДЗ $E < 0$ – к похолоданию. При этом суммарная величина накопленной энергии ΣE или ее дефицита за период времени порядка 30 лет и более может определять соответствующую глубину грядущей вариации климата. Это является научной проблемой фундаментальной важности и уникальным инструментом наилучшего и более глубокого познания физики солнечно-земных связей и установления физических причин климатических изменений и, следовательно, их наиболее надежного прогнозирования.

Мониторинг и исследование долговременных вариаций величины ЭДЗ позволит разработать наиболее надежные методы прогнозирования грядущих глубоких изменений климата. Для этого необходима оперативная и непрерывная надежная информация о вариациях их величин. ЭДЗ может быть определен как орбитальными КА на солнечно-синхронной полярной орбите (проект CERES), на геостационарной орбите (проект GERB) или в точке Лагранжа L1 системы Солнце-Земля (проект DSCOVR), так и системой двух одинаковых оптических телескопов ЛО. Однако при этих наблюдениях

погрешность измерений климатических параметров различаются практически на порядок. Коротко рассмотрим сравнительный анализ погрешности для каждого случая при указанных измерениях.

Измерения геостационарными спутниками. Геостационарные орбиты лежат в плоскости экватора и касательные к поверхности Земли, проведенные от геостационарного КА на высоте 35786 км, проходят через восьмидесятые параллели. Все, что лежит севернее и южнее этой зоны на уровне поверхности, находится за горизонтом и недоступно для наблюдения с геостационарного спутника в принципе. Он способен только на проведение прямых измерений удельной мощности отраженного и рассеянного планетой солнечного излучения и ее собственного теплового излучения, исходящих лишь от отдельного ограниченного конического объема системы поверхность-атмосфера, а не со всей поверхности планеты. Поэтому необходимо построить теоретические модели для учета излучения, отраженного от невидимого КА края земного диска. При этом любой КА, находящийся на геостационарной орбите (проект Geostationary Earth Radiation Budget (GERB)), всегда сохраняет свое неизменное положение над определенной точкой на экваторе. С геостационарного КА линейный угол обзора нижележащих слоев системы поверхность-атмосфера равен $\sim 17^\circ$ и фактически представляет собой форму конуса с основанием, опирающегося на поверхность. При этом очевидно, что регистрируемая КА, ориентированного в нади́р, информация исходит от значимо большей излучающей площади на уровне поверхности, чем от излучающей площади вышележащих слоев атмосферы, поскольку излучающий в космос объем системы поверхность-атмосфера представляет собой форму усеченного на внешних слоях атмосферы конуса (с высотой наблюдаемая площадь поверхности атмосферы уменьшается). Чем больше угловое поле зрения и чем ближе к поверхности располагается радиометр, тем больше разность между обозреваемыми площадями поверхности и атмосферы на ее внешних слоях. Его приемник излучения наблюдает одну и ту же нижележащую часть усеченного конуса системы поверхность-атмосфера, ограниченной в реальной действительности на поверхности только широтами до $\sim \pm 78^\circ$ и долготами от $\sim 156.6^\circ$ на экваторе до $\sim 26.2^\circ$ на широтах $\pm 78^\circ$ (см. таблицу 1).

Таблица 1

**Наблюдаемый сектор поверхности
спутником на геостационарной
(экваториальной) орбите**

Широта местности	Видимый сектор орбиты	
	Теоретический сектор	Реальный (с уч. рельефа) сектор
$\pm 90^\circ$	—	—
$\pm 82^\circ$	—	—
$\pm 81^\circ$	29.7°	—
$\pm 80^\circ$	58.9°	—
$\pm 79^\circ$	75.2°	—
$\pm 78^\circ$	86.7°	26.2°
$\pm 75^\circ$	108.5°	77.0°
$\pm 60^\circ$	144.8°	132.2°
$\pm 50^\circ$	152.8°	143.3°
$\pm 40^\circ$	157.2°	149.3°
$\pm 20^\circ$	161.5°	155.1°
0°	162.6°	156.6°

Это составляет примерно 42% земной поверхности. Для того чтобы все пространства земной поверхности до широт $\pm 78^\circ$ были глобально заполнены шаровыми сегментами обзора с заданным перекрытием без разрывов необходимо через каждые $\sim 26^\circ$ равномерно вдоль экватора разместить как минимум не менее 14 специальных геостационарных спутников на экваториальной орбите. Измерения не менее 14 геостационарных спутников ежемесячно с высокой точностью должны быть калиброваны между собой, что практически недостижимо. Данные, получаемые с геостационарных спутников, не могут определять значения двух основных составляющих (альбедо Бонда и собственного теплового излучения) среднегодового энергетического бюджета Земли с необходимой погрешностью порядка 0.1%, поскольку они не позволяют:

- обозревать всю земную поверхность,
- определять величину геометрического альбедо Земли,
- провести высокоточную регулярную калибровку измерений разных геостационарных спутников между собой,
- измерять собственное тепловое излучение Земли в космос со всей поверхности планеты,
- получать прямые данные с полярных широт $\pm (78^\circ - 90^\circ)$ Земли,

- определять значения фазовой функции по всем возможным фазовым углам от -180° до $+180^\circ$ по всей поверхности планеты,
- определять значение фазового интеграла на всем диапазоне фазовых углов от -180° до $+180^\circ$ по всей поверхности планеты, и т.д.

Кроме того, измеряемые геостационарными спутниками данные относятся к уходящим из внешних границ атмосферы в космос лучевым потокам энергии, которые будут представлять информацию об обозреваемом объеме усеченного конуса, а не цилиндра системы поверхность-атмосфера. Для учета излучения, отраженного и собственного теплового излучения от невидимых КА полярных зон, требуется построить теоретические модели.

При этом совершенно очевидным является тот факт, что ни 14, ни большее количества спутников на геостационарной орбите в реальной действительности не способны обеспечить полного покрытия всей поверхности земной сферы. Полученные этими геостационарными спутниками данные не поддаются экстраполяции на всю земную поверхность с погрешностью порядка 1% даже с помощью теоретического моделирования. Однако не менее 14 КА, равномерно распределенных вдоль экватора на геостационарной орбите, могут быть дополнены другими КА на низкой солнечно-синхронной полярной орбите, которые совместно могут обеспечивать полный глобальный охват всего земного шара. Тем не менее, реальная суммарная погрешность измерений останется на уровне порядка 1%, а возможность калибровки измерений между этими разными КА даже с точностью порядка 1% практически не достижимо. В целом погрешность комбинированных измерений геостационарными КА проекта GERB (Harries et al., 2005) находится на уровне порядка 1%.

Таким образом, 14 и более геостационарные спутники самостоятельно в принципе не могут обеспечить высокоточного (с погрешностью порядка 0.1%) определения величины дисбаланса среднегодового энергетического бюджета Земли как планеты из-за невозможности обозрения и измерения ими уходящих в космос удельных мощностей излучения в спектральных диапазонах 0.2-4 мкм и 4-50 мкм, исходящих со всей поверхности внешних слоев атмосферы во все направления. В то же время мониторинг дисбаланса энергетического бюджета Земли с погрешностью около 0.1% требует обеспечения, в частности, прямой регистрации уходящих обратно в космос полной энергии отраженного и рассеянного солнечного излучения и исходящего собственного теплового излучения со всей сферической системы поверхность-атмосфера на внешней границе атмосферы, полученные с одних и тех же практически цилиндрических объемов нижележащих слоев.

Измерения солнечно-синхронными спутниками. Для измерений потоков, уходящих с внешних слоев земной атмосферы коротковолновой и длинноволновой радиации с солнечно-синхронными спутниками, имеющими полярную орбиту, применяются сканирующие, а также несканирующие радиометры, поле зрения которых ориентировано в надир. Основным элементом сканирующего радиометра является зеркальный телескоп с узким углом зрения не более 8° . Для солнечно-синхронных орбит угол между плоскостью орбиты и направлением на Солнце практически постоянен, что обеспечивает незначительность изменений освещенности земной поверхности вдоль трассы полета. Спутники на солнечно-синхронной полярной орбите проходят над любой точкой земной поверхности приблизительно в одно и то же заданное местное солнечное время – когда угол освещения земной поверхности будет приблизительно одинаковым на всех проходах спутника, т.е. когда солнечное излучение всегда падает на поверхность практически под одинаковым фиксированным углом. Поэтому используется теоретическая модель, которая описывает распределение интенсивности отраженного излучения во все направления в зависимости от типа поверхности, угла падения излучения и угла наблюдения. Подобная практика длительное время используется при измерении альбедо Бонда с помощью орбитальных аппаратов, таких как Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES). Солнечно-синхронные спутники обозревают узкую полосу земной поверхности вдоль меридиана шириной до 3000 км за один пролет (~95-100 мин). Требуется почти сутки для полного обзора всей земной поверхности с последующим «сшиванием» полосы локальных измерений, полученных в разное время суток. Это не позволяет учитывать меняющуюся в течение суток величину измеряемой радиации, вызванной, в частности, перемещением и эволюцией облачного покрова, и повторного измерения одних и тех же его участков на последующем витке. При этом, делая каждый отдельный снимок во время сканирования полосы вдоль меридиана, радиометры измеряют отраженное и рассеянное излучение строго от отдельно взятого участка поверхности, практически под

определенным углом. Зная тип поверхности, а также угол падения и угол наблюдения, используя данные измерений, теоретически рассчитывается общий поток отраженного и рассеянного излучения под разными фазовыми углами от данного участка поверхности в верхнюю полусферу. Точность данного метода измерений по большей части основана на точности моделирования коэффициента отражения под разными фазовыми углами и на количестве различных типов поверхности. Кроме того, в случае большого поля зрения или при узкоугольных измерениях сканирующим плоским зеркалом полосы шириной в несколько тысяч километров осуществляется регистрация потоков солнечного излучения, являющихся результатом отражения от поверхности под значительными углами, а атмосферой – не только отраженных и рассеянных лучей от наблюдаемого сектора, но и прошедших с разных направлений в результате рассеяния атмосферой за пределами наблюдаемого радиометром сектора. В целом реальная погрешность этих методов находится на уровне около 1%. При этом однородные ряды долговременных измерений получить практически невозможно. Они также не могут измерять собственное тепловое излучение Земли одновременно со всей ее поверхности. Погрешности измерений оцениваются либо качественно, либо на уровне 1% (Trenberth et al., 2009; Thomas et al., 2009; Loeb et al., 2009). Итак, радиометры на солнечно-синхронных спутниках не могут с необходимой точностью ($\approx 0.1\%$) выполнить долговременный мониторинг альбедо Бонда и собственного теплового излучения Земли и, следовательно, не позволят прецизионного мониторинга баланса среднегодового энергетического бюджета Земли.

Измерения КА в точке Лагранжа L1. Все КА в точке Лагранжа L1 системы Солнце-Земля всегда могут наблюдать одновременно всю поверхность планеты только в одном и том же фазовом угле $\alpha = 0^\circ$ и только в периодах, когда Луна не закрывает собой земной диск (Deep Space Climate Observatory). Это позволяет их радиометру за период суточного вращения Земли провести прямые измерения удельной мощности собственного теплового излучения, а также отраженного и рассеянного планетой солнечного излучения в космос со всей поверхности Земли только в одном направлении, что позволит определять только значения геометрического альбедо Земли, когда Луна не закрывает собой земной диск. Для последующего определения величины альбедо Бонда Земли необходимо построить теоретические модели для учета излучения отраженного и рассеянного во всех остальных направлениях фазового угла. Это, а также практическое отсутствие наблюдений в периодах, когда Луна закрывает собой земной диск, связано с большими ошибками. Следовательно, радиометры КА в точке Лагранжа L1 системы Солнце-Земля не позволят с высокой точностью и в течение длительного времени провести высокоточные измерения отраженной и рассеянной всей сферической системой поверхность-атмосфера удельных мощностей доли поступающего солнечного излучения в космическое пространство и надежного определения величины фазовой функции под всеми возможными углами α . Собственное тепловое излучение Земли определяется только в те периоды, когда Луна не закрывает собой земной диск. Космическим аппаратам в точке Лагранжа L1 системы Солнце-Земля, как и всем другим орбитальным КА присуще, в частности, наличие механических колебаний и дрожаний изображения, необходимость регулярной коррекции своих орбит, выполнения точного слежения за Землей и термостабилизации НА в период рабочего режима КА. Орбитальные **КА имеют относительно короткий срок их службы** вследствие ограниченности энергетических возможностей, что **исключает проведение достаточно длительных высокоточных и однородных измерений** абсолютной величины интегрального среднегодового ЭДЗ и существенно ограничивает их возможности для решения важнейших климатических проблем.

Таким образом, **современные космические радиометры на низкоорбитальных и геостационарных спутниках наблюдают только ограниченные области Земли и измеряют мощности отдельных радиационных компонент ЭДЗ с большими ошибками.**

В то же время, мониторинг и исследование долговременных вариаций ЭДЗ, лежащих в основе климатических изменений, длительная оперативная, надежная и непрерывная однородная информация о его вариациях являются **необходимым условием** глубокого понимания физических механизмов изменений климата и определения закономерностей его формирования. Только на этой основе возможен надежный прогноз климата. Поэтому проведение высокоточных (с погрешностью $\approx 0.1\%$) однородных измерений комплекса глобальных климатических параметров в течение 11-летнего солнечного цикла с **видимой поверхности Луны, как наилучшей стабильной платформы в космосе, в идеальных условиях ее ночного времени** представляется наиболее актуальным и

перспективным для мониторинга абсолютной величины ЭДЗ и установления причин климатических изменений. Для решения этих важнейших проблем разработан проект «Лунная обсерватория».

Измерения системой двух одинаковых телескопов-роботов ЛО. Наиболее перспективным и единственным местом в космосе, обеспечивающим наиболее надежные и долговременные прямые прецизионные (с погрешностью $\approx 0.1\%$) измерения вариаций комплекса глобальных климатических параметров, а именно величины уходящих в космос во все направления со всей поверхности внешних слоев атмосферы удельных мощностей отраженного и рассеянного планетой поступающего солнечного излучения в спектральном диапазоне 0.2-4 мкм и исходящего собственного теплового излучения в диапазоне 4-50 мкм и основного окна прозрачности атмосферы в диапазоне 8-13 мкм, является видимая поверхность Луны, если будут обеспечены проведения таких измерений только в идеальных условиях ее ночного времени непрерывно в течение более 94% времени лунных суток (рис. 3). Твердая поверхность Луны и медленное незначительное ее колебание при движении вокруг Земли делают поверхность Луны единственной идеальной стабильной платформой в космосе для установки оптических телескопов-роботов для проведения долгосрочных наблюдений Земли, особенно для долговременного однородного и высокоточного измерения абсолютной величины ЭДЗ.



Рис. 3. Вид Земли с поверхности Луны.

Поэтому для решения этих насущных важнейших климатических проблем разработан проект «**Лунная обсерватория**» для мониторинга климата и абсолютной величины ЭДЗ, и поиска экзопланет, защищенный четырьмя патентами РФ (№№ 2613048 (2017 г.), 2591263 (2016 г.), 164303 (2016 г.) и 155044 (2015 г.) – автор Абдусаматов Х.И.). В ЛО будут обеспечены наблюдения практически под всеми фазовыми углами, за период суточного вращения Земли будут получены данные обо всей ее поверхности. Удаленность Луны обеспечит достаточную интенсивность исходящего от Земли излучения, допускающего использование одной высокоразрешающей ($\sim 2048 \times 2048$ пикс) микроболометрической матрицы с динамическим диапазоном в четыре порядка, чувствительные элементы которой покрыты золотой чернью. Используемая матрица очень линейна в динамическом диапазоне спектра энергетического баланса Земли и будет иметь стабильную во времени рабочую температуру, что обеспечит интегральные измерения энергии поступающего излучения в различных

полосах спектрального диапазона в интервале 0.2-50 мкм с высокой точностью ($\approx 0.1\%$). Покрытие чувствительных элементов микроболометрической матрицы золотой чернью повышает эффективность поглощения в широком интервале спектра от УФ- до дальней ИК-области. Перед матричным приемником излучения устанавливаются 12 сменных фильтров, пропускающих поочередно в этих заданных спектральных интервалах поступающее излучение. Матричный приемник излучения и блок сменных фильтров в поворотном диске объединены в единый узел, который будет перемещаться вдоль оптической оси телескопа на заданную длину.

Планируемый в ЛО мониторинг вариаций энергии в диапазоне наиболее значимого окна прозрачности атмосферы $\Delta\lambda = 8-13$ мкм дополнительно позволит регистрировать и контролировать временного изменения пропускания атмосферой теплового излучения поверхности Земли в космос, а также лучше понять относительный вклад вариации концентрации парниковых газов в атмосфере в климатические изменения. Приемник излучения в виде микроболометрической матрицы, охватывающей изображения всего диска Земли, в ЛО позволит последовательно обозревать наиболее точно и с высоким пространственным разрешением отдельно как всю подсвечиваемую часть земной поверхности в КВ-диапазоне, так и всю поверхность. Это также существенно повышает точность соответствующих измерений и последующего определения величины альbedo Бонда и собственного теплового излучения Земли. Микроболометрической матрицей телескопа ЛО можно измерять интегральный (от видимой освещенной Солнцем части Земли) поток с большой точностью (интегрируя по всем пикселям матрицы) и, одновременно, детальное изображение по всей поверхности. Микроболометрическая матрица вместо обычного болометра используется для того, чтобы наиболее точно измерять мощность излучения, исходящего только от освещенной Солнцем части Земли, так как именно эта величина определяет альbedo. Главная особенность разрабатываемой системы СОТР-300К состоит в создании и использовании высокоэффективного мультисканального гиперспектроболометра в качестве основного измерительного прибора взамен традиционных радиометров. Это впервые позволит также измерить распределения мощности потоков энергии излучений по широтам и оценить их изменения между низкими и высокими широтами – важнейшего климатообразующего процесса.

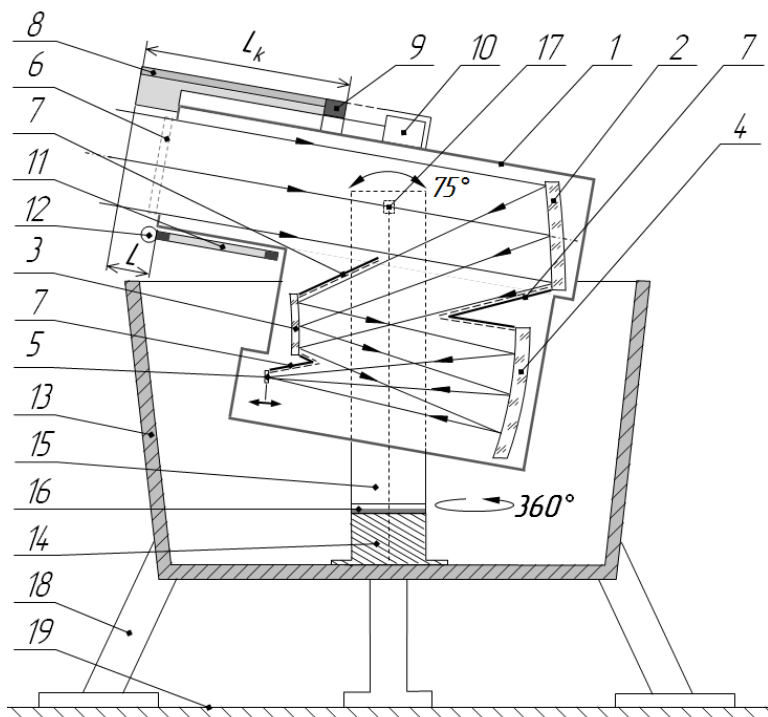


Рис. 4. СОТР-300К с откинутым матовым стеклом в защитной чаше в продольном разрезе.

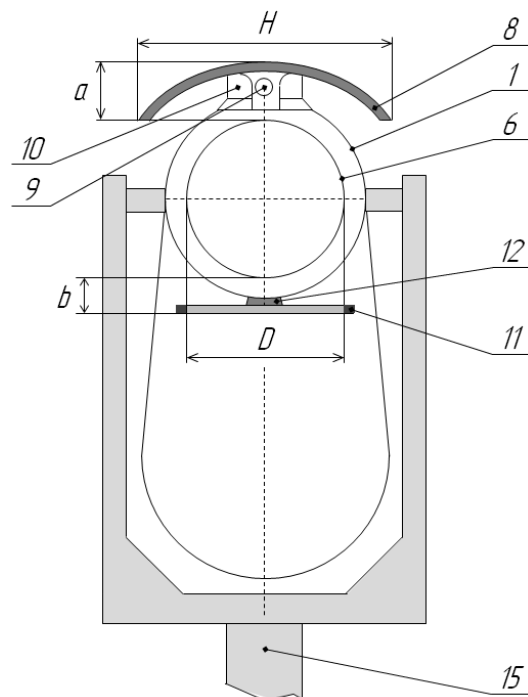
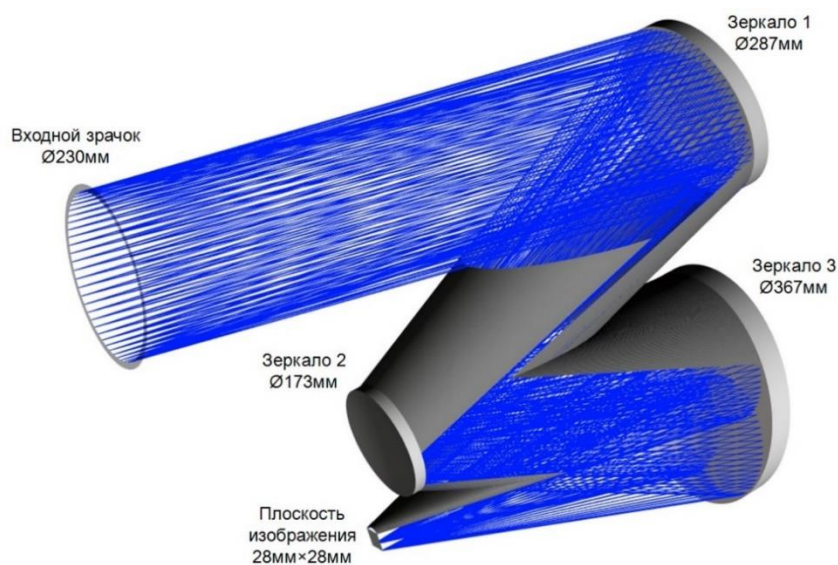


Рис. 5. Общий вид СОТР-300К со стороны входного зрачка.

Надежное измерение и исследование распределения энергии излучения по поверхности Земли, как исходящего только от освещенной Солнцем ее видимой части, так и от любого ее региона, требуют обеспечения оптическим телескопом высокого пространственного разрешения по всему получаемому изображению полного диска Земли. Таковую возможность на поверхности Луны обеспечит постоянно

направленный на Землю внеосевой трехзеркальный специальный оптический телескоп-робот с диаметром главного зеркала 300 мм с выдвижным козырьком (СОТР-300К) и рабочим полем зрения угловым диаметром ~ 132 угл.мин. При этом СОТР-300К снабжен сменным матовым стеклом, устанавливаемым на его входном зрачке во время проведения ежемесячного контроля стабильности чувствительности матричного приемника излучения. На рис. 4 представлен общий вид СОТР-300К в продольном разрезе с откинутым матовым стеклом, а на рис. 5 – вид со стороны входного зрачка, где 1 – герметичная труба; 2 – 1-ое вогнутое зеркало; 3 – 2-ое выпуклое зеркало; 4 – 3-ье вогнутое зеркало; 5 – ФПУ; 6 – входной зрачок с диаметром D ; 7 – противозасветочные бленды; 8 – выдвижной козырек; 9 – механизм перемещения выдвижного козырька с приводом 10; 11 – матовое стекло; 12 – шарнир с приводом; 13 – защитная чаша; 14 – неподвижное основание монтировки; 15 – вращающаяся U-образная верхняя часть монтировки 14 по азимуту вокруг вертикальной оси; 16 – средства поворота верхней части монтировки по азимуту; 17 – средства поворота трубы по высоте вокруг горизонтальной оси; 18 – опорные ноги чаши высотой по вертикали порядка 300 мм; 19 – поверхность Луны; длина выдвинутой от входного зрачка части козырька $L = \operatorname{tg} \gamma (D + a + b)$; a – расстояние от внешней верхней поверхности выдвижного козырька 7 до входного зрачка 6 телескопа; b – расстояние от нижнего края входного зрачка 6 телескопа до нижней наружной поверхности переднего торца его трубы 1; $\gamma < 20^\circ$ – угол наклона оптической оси телескопа относительно поверхности Луны при наблюдениях Земли. Длина выдвижного козырька L_k равна максимально возможной величине L , а его ширина H существенно больше диаметра входного зрачка D телескопа. Согласно проведенным предварительным оптическим расчетам, качество формируемого такой оптической системой СОТР-300К изображения полного диска Земли на плоской поверхности практически дифракционное с нулевым виньетированием по всему полю зрения. Оптическая схема СОТР-300К представлена на рис. 6.

Рис. 6. Оптическая схема СОТР-300К с противозасветочными блендами. Трассируются 4 пучка лучей, соответствующие крайним точкам на изображении, заполняющие входной зрачок телескопа.



Автоматическая ЛО – это система двух совершенно одинаковых компактных специальных оптических телескопов-роботов в специальной защитной (от заряженных приповерхностных частиц лунной пыли) чаше. Проведение комплекса измерений только в идеальных условиях лунного ночного времени непрерывно в течение более 94%

времени лунных суток стало возможным благодаря изобретенной системе двух совершенно одинаковых СОТР-300К (патент № 2591263 – автор Абдусаматов Х.И.). Система, функционируя последовательно в автоматическом режиме как единый телескоп по единой научной программе наблюдений Земли, позволит получать комплекс глобальных климатических параметров практически на порядок точнее, чем определяемые любым орбитальным космическим аппаратом.

Телескопы устанавливаются на высоте более 1000 мм над ровными площадками вдоль экваториальной зоны на противоположных краях лимба Луны, на удалении от ее видимого центра на расстоянии $\pm 80.9^\circ \pm 0.1^\circ$ (рис. 7). При таком размещении СОТР-300К на лунной поверхности диск Земли всегда будет находиться в поле их зрения, а лучи, исходящие от нее, падают на данные лунные поверхности почти по касательной – угол наклона оптической оси телескопов к лунной поверхности составит менее 20° , а зеркал – более 70° . За время движения Луны вокруг Земли система из двух СОТР-300К, функционирующей как единый телескоп, только в лунное ночное время будет последовательно обозревать всю земную поверхность с различных ракурсов (практически во всех диапазонах фазовых углов) непрерывно в течение более 94% времени лунных суток (рис. 8). Менее 6% перерыв в наблюдениях Земли в период видимости ее ночной и около ночной стороны имеет ничтожно малую

долю энергии, и она будет надежно определена посредством интерполяции и не внесет практически никакого влияния в точности последующего определения значений альбедо Бонда и собственного теплового излучения Земли. В результате, за период синодического лунного месяца будет получена непрерывная зависимость от угловой координаты измеряемой мощности излучения по всей поверхности Земли во всем спектре излучений. Это позволит экспериментально надежно определять фазовый интеграл, связывающий геометрическое альбедо и альбедо Бонда Земли. При реализации ЛО будут использованы алгоритмы и методы математического описания и процесса обработки результатов измерений световых и тепловых потоков излучения Земли, разработанные ранее нами при мониторинге энергетического бюджета Земли из точки Лагранжа L1 системы Солнце-Земля.

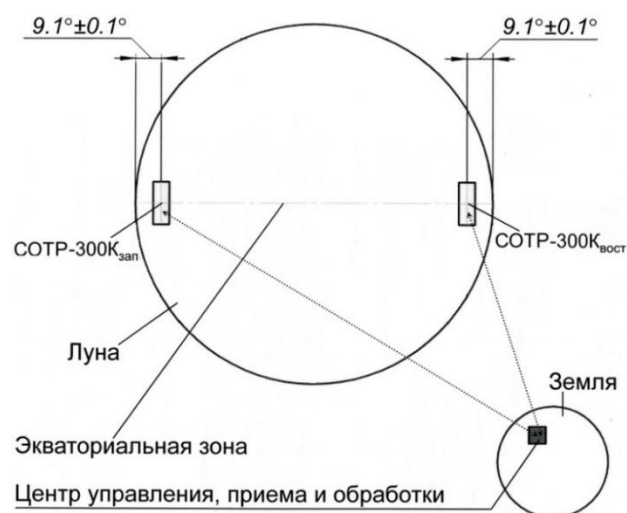


Рис. 7. ЛО – система двух одинаковых СОТР-300К для измерения комплекса глобальных климатических параметров Земли непрерывно только в лунное ночное время в течение более 94% лунных суток.

Полный поток излучения, исходящего от Земли, следует разделить по спектральному диапазону на две составляющие в соответствии с их различием в природе образования: КВ составляющая, соответствующая отраженному планетой диапазону спектра солнечного излучения $\Delta\lambda = 0.2-4$ мкм; ДВ составляющая, соответствующая диапазону спектра собственного теплового излучения Земли $\Delta\lambda = 4-50$ мкм. Комплексные измерения распределения интегрального энергетического потока излучения по всему диску

Земли осуществляются во всем рабочем спектральном диапазоне длин волн 0.2-50 мкм и в заданных его двух широких и десяти узких интервалах каждого СОТР-300К. Первым каналом одновременно регистрируется полная энергия излучения Земли в КВ- и ДВ-диапазонах спектра – 0.2-50 мкм. Во втором канале для выделения энергии излучения в КВ-диапазоне спектра используется соответствующий фильтр, а именно плоскопараллельная пластина из кварца-УФ, который, имея красную границу полосы пропускания на длине волны 4 мкм, отсекает излучение ДВ-диапазона спектра. Поток энергии собственного теплового излучения в спектральном диапазоне 4-50 мкм будет определен путем вычитания измеренной энергии излучения в КВ-диапазоне (второй канал) от измеренной энергии полного излучения Земли (первый канал). Третий канал с фильтром, пропускающим излучение в диапазоне 8-13 мкм, регистрирует излучаемую энергию в пределах основного окна прозрачности атмосферы. Это позволит контролировать временного изменения пропускания атмосферой теплового излучения поверхности Земли в космос и лучше понять относительный вклад вариации содержания парниковых газов в атмосфере в климатические изменения. Изучение облачного и снежно-ледяного покровов, растительности, концентраций аэрозолей и озона, а также и других физических и оптических характеристик атмосферы и поверхности Земли проводится в 10 узких полосах диапазона 0.3-3 мкм.

Ежемесячная калибровка телескопов СОТР-300К между собой производится по результатам их одновременных параллельных измерений в течение 30 час в период каждого новолуния. Стабильность чувствительности микроболометрического матричного приемника излучения СОТР-300К контролируется ежемесячно по равномерному уровню освещенности в фокальной плоскости телескопа, осуществляемой введением матового стекла в его входной зрачок в период полной фазы Земли, а также по мощности излучения стандартных звезд, наблюдаемых на достаточном угловом удалении от диска Земли. В результате любое изменение электрического сигнала на выходе каждого пикселя матричного ФПУ может быть автоматически учтено введением соответствующей поправки.

Система СОТР-300К работает со следующим циклом наблюдений Земли, начинающимся после наступления каждого полнолуния. Первый восточный СОТР-300К, установленный на расстоянии $9.1^\circ \pm 0.1^\circ$ от восточного края экваториальной зоны Луны, начинает наблюдение только после захода Солнца за лунный горизонт в месте его установки и остывания до рабочей температуры через не более 24 час после наступления полнолуния. Второй западный СОТР-300К, установленный также на

расстоянии $9.1^\circ \pm 0.1^\circ$, но от западного края экваториальной зоны Луны, подключается одновременно с восточным СОТР-300К к наблюдениям только после захода Солнца за лунный горизонт в месте его установки и остывания до рабочей температуры за не менее 12 час до наступления новолуния. С этого времени в течение не менее 12 час до наступления новолуния и не менее 18 час после наступления новолуния оба СОТР-300К, как восточный, так и западный, будут вести одновременные параллельные наблюдения Земли по одной и той же научной программе. Эти наблюдения используются также и для ежемесячной калибровки телескопов СОТР-300К между собой. После восхода Солнца над горизонтом в месте установки восточного СОТР-300К, вследствие его нагрева солнечным излучением и высокого температурного фона вокруг него, он становится неработоспособным, а продолжающиеся непрерывные наблюдения Земли только западным СОТР-300К прекратится за не более 18 час до наступления полнолуния. Наблюдения Земли в области терминатора не проводятся, а входной зрачок закрывается герметичной крышкой. В течение не более 18 час до наступления и не более 24 час после наступления полнолуния и остывания восточного СОТР-300К до рабочей температуры оба телескопа становятся неработоспособными (в период, когда видна только ночная и около ночная сторона Земли) из-за их освещения солнечным излучением и нагрева, а также высокого температурного фона вокруг них. Такой, менее 6%, перерыв в наблюдениях Земли только в течение не более 42 час за весь промежуток времени между двумя последовательными полнолуниями – за лунные сутки (Луна совершает полный оборот по отношению к Солнцу за 29.53 земных суток), когда отраженное и рассеянное планетой солнечное излучение в период видимости ночной и около ночной стороны Земли имеет ничтожно малую долю энергии. Она может быть надежно определена посредством интерполяции и не внесет практически никакого влияния в точности определения значений альбедо Бонда. После захода Солнца за лунный горизонт в месте установки восточного СОТР-300К и его остывания до рабочей температуры через не более 24 час после наступления очередного полнолуния начинается новый цикл таких наблюдений системой двух одинаковых СОТР-300К, обеспечивающих наблюдения Земли последовательно только в лунное ночное время в местах их установки. Только такая ЛО, состоящая из системы двух одинакового СОТР-300К на указанных противоположных краях видимой поверхности Луны, работающих последовательно только в лунное ночное время непрерывно в течение более 94% времени лунных суток в местах их установки в автоматическом режиме как единый телескоп, позволит получать комплекс наиболее точных глобальных климатических параметров, надежно измерять расходуемой планетой поступающей среднегодовой энергии солнечного излучения на внешней границе ее атмосферы и определять относительный вклад вариации концентрации парниковых газов в атмосфере в климатические изменения.

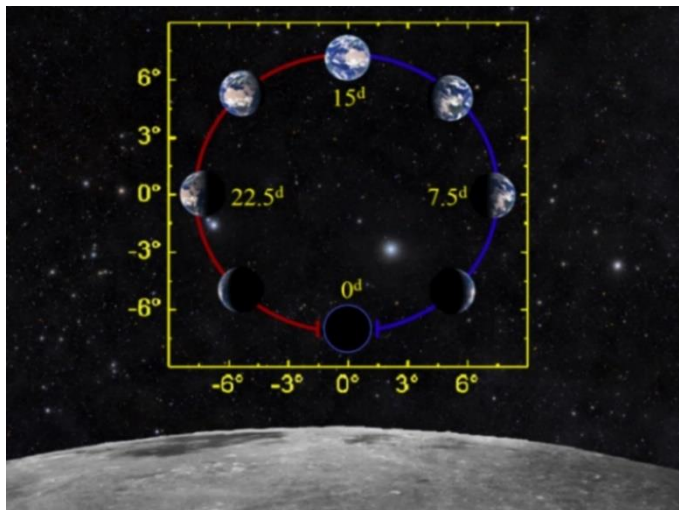


Рис. 8. Последовательное обозрение практически со всех ракурсов всей земной поверхности системой двух СОТР-300К в диапазонах фазовых углов α от -170.9° до 0° и от 0° до $+168.8^\circ$ при движении Луны вокруг Земли за период синодического лунного месяца.

Получаемые в течение 11-летнего солнечного цикла прецизионные однородные ряды данных о вариациях среднегодовых значений наиболее эффективных глобальных параметров, характеризующих и определяющих климат, позволят наиболее надежно определять долговременные вариации поглощаемой и расходуемой планетой поступающую на внешнюю

границу атмосферы среднегодовую энергию солнечного излучения и абсолютной величины интегрального среднегодового ЭДЗ. Это кардинальным образом расширит наши представления о закономерностях формирования и изменения глобального климата. Мониторинг их вариаций с поверхности Луны является приоритетной и важнейшей научной и прикладной проблемой, прежде всего, для установления физических причин изменения климата и наиболее надежного прогнозирования его грядущих изменений и глубины. Это позволит также надежно определять относительный вклад вариации концентрации парниковых газов в атмосфере в климатические

изменения. Долговременные, практически непрерывные (за исключением только весьма незначимого, менее 6%, периода времени лунных суток, когда видна только ночная и около ночная сторона Земли), измерения комплекса важнейших глобальных климатических параметров стационарной ЛО на видимой поверхности Луны обладают несомненными преимуществами перед всеми другими космическими методами их измерений. ЛО обеспечит важнейшими недостающими и крайне необходимыми надежными глобальными климатическими данными, которые не могут быть получены никакими другими космическими методами их прямых измерений, и создание новой важнейшей фундаментальной базы данных абсолютной величины среднегодового ЭДЗ. Создание такой ЛО крайне необходимо именно сейчас в связи с долговременным отрицательным среднегодовым ЭДЗ вследствие активного уменьшения и грядущего наступления глубокого минимума СП квазидвухвекового цикла.

Защита (страховка) оптических элементов СОТР-300К в ночное время от опускающихся вертикально из верхних слоев экзосферы весьма редких частиц лунной пыли обеспечивается выдвижным козырьком, снабженным механизмом возвратно-поступательного перемещения, размещаемым параллельно оптической оси над входным зрачком (патент № 155044). Величина возвратно-поступательного перемещения козырька телескопа $L = \operatorname{tg} \gamma (D + a + b)$. При этом длина козырька $L_V = L_{\max}$, а его ширина H_V существенно больше D . При наблюдениях Земли угол наклона оптической оси телескопа относительно поверхности Луны $\gamma < 20^\circ$, $\operatorname{tg} 20^\circ = 0.36$, следовательно, $L_E = 0.36(D + a + b)$, что значительно упростить его конструкцию и управление. При этом система контроля фотометрических характеристик СОТР-300К дополнительно обеспечит контроль их состояния независимо от возможного проникновения весьма редких частиц лунной пыли. При транспортировке козырек задвигается в пределы корпуса трубы, доведя его продольные габариты до безкозырькового состояния. СОТР-300К для защиты его оптических элементов от приповерхностной заряженной лунной пыли устанавливается в центральной зоне чаши, выполненной в виде перевернутого усеченного конуса (рис. 4). В горизонтальном положении трубы нижний край входного зрачка телескопа находится выше верхнего уровня чаши, а торцы трубы без козырька в вертикальной проекции не достигают верхней внутренней поверхности конуса. Чаша выполнена с опорными ногами высотой по вертикали порядка 300 мм и возможностью расположения ее над ровной площадкой поверхности так, что ее верхний уровень расположен на высоте более 1000 мм над поверхностью. Для защиты от заряженных частиц лунной пыли внешние поверхности чаши и входного зрачка, а также поверхность зеркал покрыты электроизолированными электропроводящими оболочками, подключенными к блоку электропитания, расположенному в чаше, имеющими электрический заряд с заданной частотой смены полярности, в частности, и в зависимости от смены дня и ночи (патенты № 164303 (2016 г.) и № 2613048 (2017 г.)).

Компактные телескопы-роботы СОТР-300К полностью автоматизированы, **не требуют создания лунной базы и участия космонавтов** при их установке на Луне и обслуживания в дальнейшем. **Используется успешный опыт установки еще в 2013 г. аналогичного по всем параметрам китайского Лунного УФ телескопа LUT (Lunar-based Ultraviolet Telescope) без помощи космонавтов и специальной посадочной аппаратуры** (рис. 9).

Масса одного комплекса НА СОТР-300К с облегченными зеркалами в защитной чаше без солнечных батарей, аккумуляторов и двигателей мягкой посадки – около 100 кг, а габариты – менее $1500 \times 1500 \times 1500$ мм³. Требуемая электрическая мощность – не более 100 Вт. Электрическая мощность обеспечивается солнечными батареями СОТР-300К, заряжающими аккумуляторы в дневное время. Слежение за Землей телескопом будет осуществляться ступенчато интервалом через каждые 6-16 час по заданным программам, поскольку земной диск висит в небе Луны почти неподвижно (рис. 8), а фокусное расстояние СОТР-300К выбрано так, чтобы изображение диска Земли всегда было несколько меньше размера площадки чувствительных элементов матрицы. Система из двух телескопов, осуществляя измерения последовательно, осуществит мониторинг отраженной Землей энергии солнечного излучения, энергии ее собственного теплового излучения в $\Delta\lambda = 4\text{--}50$ мкм и $\Delta\lambda = 8\text{--}13$ мкм непрерывно только в ночное время в течение более 94% времени лунных суток. Это позволит наиболее надежно определять величины среднегодового ЭДЗ и расходуемой планетой энергию солнечного излучения в эпоху активного спада и грядущего наступления глубокого минимума СП. ЛО в течение 11-летнего солнечного цикла обеспечит важнейшими недостающими, крайне необходимыми

надежными однородными глобальными климатическими данными с погрешностью $\approx 0.1\%$, которые не могут быть получены никакими другими космическими методами их измерений.

Поверхностная плотность мощности поступающего на поверхность единичной площадки Луны излучения от Земли вычисляются по формуле (Qiu et al., 2003)

$$I_E = \frac{S_{\odot}}{R_{ES}^2} A_{gE} f_E(\alpha) \frac{R_E^2}{R_{EM}^2}, \quad (10)$$



где R_E – радиус Земли, R_{ES} , R_{EM} – расстояния между Землей и Солнцем, Землей и Луной соответственно в астрономических единицах (а.е.). Результатом проведенных во всем диапазоне фазовых углов измерений станет значение фазовой функции, умноженной на геометрическое альbedo, определяющее отражающую способность Земли

$$A_{gE} f_E(\alpha) = I_E \frac{R_{ES}^2 R_{EM}^2}{S_{\odot} R_E^2}. \quad (11)$$

Рис. 9. Китайский Lunar-based Ultraviolet Telescope (LUT) с апертурой 150 мм с 2013 г. успешно проводит УФ-наблюдения звезд: https://en.wikipedia.org/wiki/Chang%27e_3; www.newscientist.com/article/dn28323-china-has-had-a-telescope-on-the-moon-for-the-past-two-years/

Значения I_E , R_{ES} , R_{EM} , S_{\odot} не зависят напрямую от фазового угла, однако изменяются во времени и для каждого значения фазового угла α должны быть измерены независимо. Измеренные таким образом значение произведения геометрического альbedo Земли и ее фазовой функции позволят вычислить альbedo Бонда по формуле (2).

Энергетические оценки:

Солнечная постоянная	1366 Вт/м ² ;
Альbedo Бонда Земли	0.30;
Диаметр Земли	$1.27 \cdot 10^7$ м;
Удельный поток встерадиан	$1.39 \cdot 10^{16}$ Вт/стер;
Диаметр объектива	0.23 м;
Площадь объектива	0.0415 м ² ;
Расстояние до Луны	$3.84 \cdot 10^8$ М;
Телесный угол	$2.13 \cdot 10^{-19}$ стер;
Удельный поток в телескоп	$3.8 \cdot 10^{-3}$ Вт.

Рис. 10. Общий вид фазовой функции Земли, восстановленной из данных обсерватории BBDO США, по результатам наблюдения пепельного света Луны.



Удельный поток в телескоп $3.8 \cdot 10^{-3}$ Вт достаточен для высокоточных измерений микроболометрической матрицей. Пороговая чувствительность элементов микроболометрической матрицы порядка $25 \cdot 10^{-12}$ Вт при времени регистрации порядка 1 сек. Это может обеспечить измерения (интегрируя по всем пикселям матрицы) с погрешностью порядка 0.07%. Расстояния будут измерены с большой точностью. Прямые высокоточные данные о собственном тепловом излучении Земли в космос в ЛО будут получены ежесуточно.

В формуле (11) источниками погрешности являются только величины I_E и S_{\odot} . Значения расстояний, входящих в формулу, могут быть измерены с точностью, значительно превышающей 0.07%, поэтому пренебрегаем погрешностью в определении расстояний. При этом нужно учитывать, что из-за сферической формы Земли, различные части наблюдаемого земного диска находятся на различном

удалении от точки наблюдения, поэтому для каждого пикселя в интенсивность излучения должна быть внесена поправка, учитывающая корректное расстояние, после чего должна рассчитываться интегральная мощность излучения. Как видно из рис. 10, общий вид фазовой функции Земли вблизи точки $\alpha = \pm 180^\circ$ вносят минимальный вклад в фазовый интеграл, поэтому невозможность проводить прямые наблюдения в диапазонах фазовых углов α от -170.9° до -180° и от $+168.8^\circ$ до $+180^\circ$ не внесет практически никакой ошибки. Если на этом участке кривой фазовой функции путем интерполяции продолжить линейно спадающей в ноль при $\alpha = \pm 180^\circ$, это приведет к отличию от интеграла исходной функции менее чем на 0.001%, что значительно меньше предполагаемой точности измерений, следовательно, этой ошибкой можно пренебречь полностью. Последовательное использование двух оптических телескопов-роботов позволяет непрерывно наблюдать Землю с поверхности Луны на всем диапазоне фазовых углов α от -170.9° до 0° и от 0° до $+168.8^\circ$. Неполное покрытие диапазона фазовых углов Земли не внесет никакой ошибки в результаты измерений. Точность итогового значения измеряемых величин определяется в основном аппаратной ошибкой измерительной аппаратуры. Непрерывный мониторинг отраженного от Земли излучения позволяет рассчитать среднегодовое значение альбедо Бонда и собственного теплового излучения Земли с учетом всех их вариаций, произошедших в течение всего года.

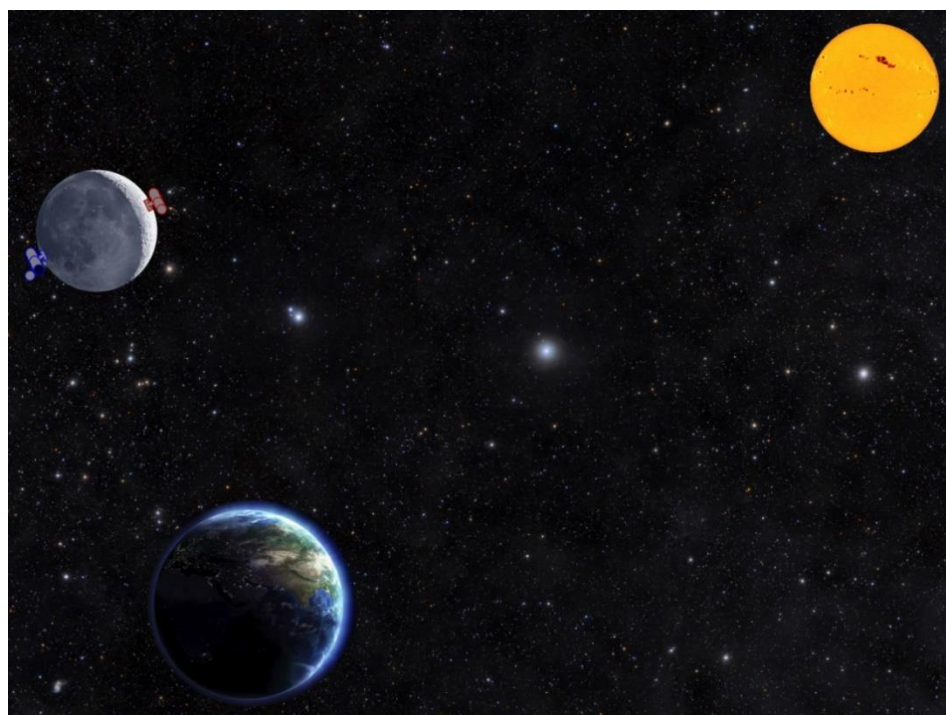


Рис. 11. Функционирование ЛО, состоящей из системы двух одинаковых СОТР-300К.

Таким образом, только ЛО обеспечивает проведения длительных однородных рядов измерений и определения параметров среднегодовых величин суммарных энергий, уходящих от Земли в космическое пространство: альбедо Бонда и собственного теплового излучения Земли с погрешностью $\approx 0.1\%$, что практически на порядок точнее, чем погрешности измерений этих параметров КА на геостационарной, солнечно-синхронной или в точке Лагранжа L1 системы Солнце-

Земля орбитах. При этом **только ЛО позволит** в течение, 11-летнего солнечного цикла, **получать однородные ряды прецизионных данных** о вариациях среднегодовых значений наиболее эффективных глобальных параметров, характеризующих и определяющих климат, и наиболее надежно определит долговременные вариации величины среднегодового ЭДЗ. То есть эти данные наиболее надежно и полно определять среднегодовые разности между поступившими на планету и ушедшими обратно в космическое пространство энергиями. ЛО впервые также обеспечит и создания новой однородной недостающей, крайне необходимой наиважнейшей фундаментальной базы высокоточных данных о величине среднегодового ЭДЗ в течение 11-летнего солнечного цикла. Исследование долговременных вариаций величины среднегодового ЭДЗ позволит надежно определять изменение энергетического состояния планеты, суммарную величину накопленного Океаном избытка поступившей энергии или ее дефицита. Они впервые позволят определять физические механизмы формирования, физические причины и закономерности изменений климата нашей планеты и разработать наиболее надежные методы прогнозирования его грядущих глубоких изменений. А суммарная величина накопленной энергии ΣE или ее дефицита за длительный период может определять соответствующую глубину грядущей вариации климата. Это является научной проблемой фундаментальной важности и уникальным инструментом наилучшего и более глубокого познания физики солнечно-земных связей и установления физических причин климатических изменений.

Полученные в ЛО данные на основе длительных однородных рядов прецизионных измерений вариаций альbedo Бонда, собственного теплового излучения (полной мощности и в диапазоне длин волн основного окна прозрачности атмосферы) Земли и ЭДЗ позволят кардинальным образом расширить наши представления о закономерностях формирования и изменения глобального климата. По этой причине долговременный мониторинг их вариаций с поверхности Луны является приоритетной и важнейшей научной проблемой, прежде всего, для исследования и установления физических причин и наиболее надежного прогнозирования грядущего изменения климата и определения его глубины.

ЛО впервые в течение 11-летнего солнечного цикла обеспечит важнейшими недостающими и крайне необходимыми наиболее надежными высокоточными глобальными климатическими данными об изменении ЭДЗ и накапливаемого избытка или дефицита энергии в Океане, которые не могут быть получены никакими другими космическими методами их прямых измерений. Эти данные позволят надежно определять зависимость изменения ЭДЗ от циклических вариаций СП. Полученная зависимость будет надежным индикатором для реконструкции изменений ЭДЗ за весь период высокоточных измерений СП с 1978 г., что позволит выявить физические механизмы формирования, причины и закономерности изменений климата планеты за более, чем 70 лет и разработать наиболее надежные методы прогнозирования.

ЛО является уникальным проектом и решаемые в ней научно-прикладные задачи не могут быть выполнены никакими другими средствами, т.е. «нелунных» альтернативных решений данной важнейшей проблемы не существуют.

ЛО находится в русле стратегических планов долгосрочного развития Российской Федерации и интересов ее национальной безопасности. Создаваемая первая стационарная ЛО направлена на выполнение **Климатической доктрины РФ**, принятой Распоряжением Президента РФ от 17.12.2009 г. N 861-рп, в частности, на мониторинг альbedo Бонда, собственного теплового излучения и ЭДЗ для определения физических механизмов и закономерностей формирования климата, направления и глубины его грядущих изменений, а также на выполнение п. 3.5

"... Обеспечение соответствия климатических исследований Российской Федерации мировому уровню, признания результатов российских исследований международным научным сообществом, использования их в качестве аргументов в межгосударственном политическом диалоге по проблемам климата".

Итак, своевременное создание стационарной ЛО, прежде всего, для исследования и установления физических причин, а также наиболее надежного прогнозирования изменений глобального климата на основе исследования вариаций величин долговременного ЭДЗ и накопленного в Океане избытка поступившей энергии или ее дефицита, является приоритетным научным и прикладным направлением (**с важнейшим практическим выходом**). Посредством исследований, в частности, солнечных источников климатических изменений, ЛО, обеспечивая в течение 11-летнего солнечного цикла новым потоком комплекса недостающих, крайне необходимых важнейших научных информации, **станет огромным научным прорывом и даст совершенно новые возможности для глубокого изучения климата планеты и его изменений, а также их физических причин.** Установление тенденций и физических причин изменений климата и, следовательно, своевременная разработка наиболее надежных методов его прогнозирования позволит предупредить и максимально ослабить опасные для национальных интересов РФ последствия грядущего глобального ухудшения природных условий и климата, особенно при освоении природных богатств Арктического региона РФ, а также ухудшения социально-экономической и климатически обусловленной геополитической ситуаций.

Проект **ЛО** последовательно поддерживался Программами №№ 9, 7, 28 и КП19-270 Президиума РАН по проведению фундаментальных научных исследований, а также Советом РАН по космосу:



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

29.09.2014

№ 11204 / 1874-53

на №

от

Директору ГАО РАН,
чл.-корр. РАН А.В. Степанову

Х.И. Абдусаматову
29.10.14

Уважаемый Александр Владимирович!

Проект «Лунная обсерватория», предложенный зав. СКИС ГАО РАН, д.ф.-м.н. Абдусаматовым Х.И., направлен на мониторинг отклонения среднегодового энергетического баланса Земли от равновесного состояния и некоторых глобальных и локальных свойств ее поверхности и атмосферы с целью выяснения возможных причин климатических изменений, происходящих на нашей планете. Наиболее надежные комплексные исследования долговременных вариаций альбедо Бонда, мощности собственного теплового излучения, некоторых глобальных и локальных свойств поверхности и атмосферы Земли можно провести на основе их высокоточных и достоверных комплексных измерений только с поверхности Луны. Поэтому данный проект обладает несомненным преимуществом перед другими космическими методами измерений вышеуказанных глобальных климатических параметров и обеспечит важнейшими недостающими крайне необходимыми глобальными данными.

Проект «Лунная обсерватория», безусловно, интересный, предполагаемые точности измерений высокие, будет дополнять планируемую российскую программу освоения Луны. Совет РАН по космосу считает необходимыми подготовку и проведение космических экспериментов, направленных на поддержку Климатической доктрины Российской Федерации, принятой Распоряжением Президента РФ от 17.12.2009 г. N 861-рп, в частности мониторинга отклонения среднегодового энергетического баланса Земли от равновесного состояния для прогнозирования глобального климата. В связи с этим Совет РАН по космосу рекомендует поддержать проект «Лунная обсерватория» для активного продолжения работ по его подготовке и реализации в рамках плана НИР ГАО РАН, на первых порах без дополнительного финансирования.

С уважением,

Председатель Совета РАН по космосу,
директор ИКИ РАН, академик

Л.М. Зеленый



117997, МОСКВА, ГСП-7, ПРОФСОЮЗНАЯ УЛ. 84/32 e-mail: iki@cosmos.ru Тел.: (495) 333 5212 Факс: (495) 333 1248
ОКПО: 02698692 ОГРН: 1027739475279 ИНН/КПП: 7728113806/772801001 333 2588 333 5178
333 1000

23	10	2014
Вкл.	278	
Основного		
Приложения		

Одновременно система двух телескопов ЛО последовательно в течение всего лунного дня обеспечит непрерывный поиск экзопланет, т.е., планет у других звезд, пригодных для жизни. Поэтому проект ЛО займет свою достойную нишу также и в исследованиях экзопланет, поскольку поверхность Луны является идеальным местом и для их исследований. Весьма медленное вращение Луны и достаточно широкое (~132 угл. мин) угловое поле зрения телескопов СОТР-300К **значительно увеличит точность позиционирования** и количество используемых звёзд. Таким образом значительно расширены и дополнены научные исследования проекта ЛО включением поиска экзопланет у солнцеподобных и относительно ярких звезд (проводится последовательно системой телескопов непрерывно в течение всего лунного дневного времени) в спектральном диапазоне 0.2-4 мкм. Телескопы ЛО способны обнаруживать суперземли у солнцеподобных звёзд и даже меньшие у поздних красных карликов. Поэтому лунные оптические телескопы смогут непрерывно в лунное дневное время осуществлять поиск экзопланет, размером начиная с суперземель, методом транзитов в спектральной полосе $\Delta\lambda = 0.2-4$ мкм. Кроме того, накопление статистики транзитов известных экзопланет по новым наблюдениям позволяет искать отклонения во времени наступления транзитов экзопланет от строго ожидаемого значения, которые могут вызываться влиянием дополнительных планет или других тел в системе. Таким образом возможно искать дополнительные планеты в системах с известными транзитными планетами. Телескопы будут следить на разных участках звездного неба за солнцеподобными и, особенно за более яркими звездами разного спектрального класса, о планетах которых мало что известно. За этими планетами телескопы будут наблюдать «напрямую», отслеживая то, как они проходят по диску, светила. Такой их «перепись» может показать, в частности, как часто могут формироваться аналоги Земли у более крупных и ярких светил, и насколько вероятно зарождение жизни на их поверхности.

ПАО Красногорский завод (КМЗ) 06.09.2019 г. № ГД/6035 выдал официальное заключение о технической реализуемости данного проекта.

ЛО впервые за период более 11-летнего солнечного цикла обеспечит нас важнейшими недостающими, крайне необходимыми и наиболее надежными, прецизионными, однородными глобальными климатическими данными, которые не могут быть получены никакими другими космическими методами из прямых измерений. Только предлагаемая нами система двух специально оборудованных оптических телескопов-роботов, размещенных заданным образом на поверхности Луны, может решить задачу долговременного прецизионного, с точностью порядка 0.1%, мониторинга абсолютной величины среднегодового интегрального ЭДЗ и климата. ЛО является наиболее приоритетной космической миссией наступающего десятилетия и ее реально можно осуществить в срок до 2028 г., поскольку многие принципиальные вопросы лунного оптического телескопа-робота СОТР-300К и НИР вообще, на наш взгляд, практически решены и защищены четырьмя патентами РФ (№№ 2613048, 2591263, 164303, 155044).

Создание Лунной обсерватории крайне необходимо реализовать именно сейчас ориентировочно до 2028 г. в связи с наблюдаемым активным уменьшением интегральной мощности солнечного излучения с ~1990 г. и грядущим наступлением его глубокого минимума в квазидвухвековом цикле в 2043±11 г.

Приложение 1.

Примерная оценка технических ресурсов, необходимых для проведения эксперимента:

- Масса одного комплекса научной аппаратуры СОТР-300К с облегченными зеркалами в защитной (от заряженных частиц лунной пыли) чаше без солнечных батарей и аккумуляторов – не более 100 кг, а габариты – менее 1500х1500х1500 мм³;
- Специальная пылезащитная **чаша** с 6-ю посадочными лапками одновременно будет **приспособлена и как посадочный модуль** (посадочная аппаратура) **с двигателями мягкой посадки** для установки телескопа на поверхности Луны;
- Каждый комплекс оптического телескопа-робота СОТР-300К устанавливается в центральной зоне специально оборудованной защитной чаши на высоте более 1000 мм

- над ровной площадкой поверхности вдоль экваториальной зоны на противоположных краях лимба, удаленных от видимого центра Луны на $80.9^\circ \pm 0.1^\circ$;
- Координаты научной аппаратуры каждого комплекса СОТР-300К на поверхности Луны $(+80.9^\circ \pm 0.1^\circ) \times (0^\circ \pm 5^\circ)$ и $(-80.9^\circ \pm 0.1^\circ) \times (0^\circ \pm 5^\circ)$;
 - Комплекс НА СОТР-300К не требует обслуживания и настройки. Все будет заложено заранее в программу управления комплексом, а необходимые ее корректировки будут осуществлены дополнительно дистанционным управлением с Земли;
 - Необходимая площадь для каждого комплекса – не более $10 \times 10 \text{ м}^2$;
 - Компактные телескопы-роботы СОТР-300К полностью автоматизированы, **не требуют создания лунной базы и участия космонавтов** при их установке на Луне и обслуживания в дальнейшем. **Используется успешный опыт установки еще в 2013 г. аналогичного по всем параметрам китайского Лунного УФ телескопа LUT (Lunar-based Ultraviolet Telescope) без помощи космонавтов и спецпосадочной аппаратуры** (рис. 9);
 - Требуемая электрическая мощность – при наблюдениях Земли в ночное время не более 100 Вт, а при наблюдениях экзопланет в дневное время – порядка 200 Вт. Электрическая мощность обеспечивается солнечными батареями каждого телескопа, заряжающими аккумуляторы в дневное время;
 - Каждый телескоп проводит наблюдения Земли с заданной частотой в течение всего ночного лунного времени в месте установки телескопа, после его остывания до рабочей температуры. Слежение за Землей телескопом в пределах $\pm 8^\circ$ по азимуту и $\pm 7^\circ$ по высоте будет осуществляться **ступенчато с интервалом через каждые 6-16 час** в зависимости от изменения видимого углового размера Земли; При наблюдениях экзопланет в лунное дневное время телескопы будут иметь автоматическую систему точного слежения за объектами с учетом вращения поля;
 - Прием и передача информации с каждого телескопа осуществляется в лунное дневное время. Ожидаемый поток научной и служебной информации с обоих телескопов до 40 Гбайт/сутки и до 1000 Гбайт/месяц.
 - Нет необходимости в особых требованиях.

Приложение 2.

Основные публикации и доклады по теме в 2015-2021 гг.:

- *Abdussamatov H.I.* Climate sensitivity to an increase in the carbon dioxide concentration in the atmosphere decreases with an increase in the water vapor concentration upon warming // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2021. Vol. 61, No. 7, pp. 978–984. doi: 10.1134/S0016793221070021
- *Абдусаматов Х.И.* Исследование энергетического дисбаланса Земли и климата с поверхности Луны // Труды XXV всерос. конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2021». СПб. 2021. С. 3-6. doi: 10.31725/0552-5829-2021-3-6.
- *Abdussamatov H.I.* Lunar observatory for monitoring and studying the energy imbalance of the Earth and climate // 2021 <http://www.gaoran.ru/english/lunar%20observatory.pdf>.
- *Abdussamatov H.I.* Energy imbalance between the Earth and space controls the climate // *Earth Sciences*. 2020, Vol. 9, No. 4, pp. 117-125. doi: 10.11648/j.earth.20200904.11
- *Абдусаматов Х.И.* Энергетический дисбаланс между землей и космосом определяет климат // В книге: Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны. Расширенные тезисы докладов. Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, Институт географии РАН. 2020. С. 97-101.
- *Abdussamatov H.I.* The Earth's climate does not depend on variations in cosmic rays and cloud coverage // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2019. 59, 935–941. doi: 10.1134/S0016793219070028
- *Абдусаматов Х.И.* Изменения климата под влиянием звезды Солнце в настоящем и будущем // Вопросы географии. 2019. № 149. С. 220-262. ISBN 978-5-6042218-5-3
- *Абдусаматов Х.И.* Лунная обсерватория для мониторинга радиационного баланса Земли и климата // Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования», 26-28.11.2019 г. Москва: Физматкнига, 2019. С. 97 – ISBN 978-5-89155-324-8
- *Abdussamatov H.I.* Comparative analysis of errors in monitoring the Earth's global energy budget by the Lunar Observatory and orbiters // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2018, Vol. 54, no. 9, pp. 1318–1329. doi: 10.1134/S0001433818090013

- *Абдусаматов Х.И.* Сравнительный анализ погрешности мониторинга глобального энергетического бюджета Земли лунной обсерваторией и орбитальными космическими аппаратами // Исследование Земли из космоса. 2018, № 3. С. 101-116. doi: 10.7868/S0205961418030089
- *Abdussamatov H.I.* Cosmic rays and clouds variations effect on the climate is insignificantly // Applied physics research. 2018. Vol. 10, no. 4, pp. 81-86. doi: 10.5539/apr.v10n4px
- *Abdussamatov H.I.* Remote sensing of the Earth from the surface of the Moon on monitoring energy budget and climate // J. Remote Sensing & GIS. 2018. Vol. 7, P. 25. doi: 10.4172/2469-4134-C2-013
- *Abdussamatov H.I.* The solar irradiance defines the climate // J. Remote Sensing & GIS. 2018. Vol. 7, P. 34. doi: 10.4172/2469-4134-C2-013
- *Абдусаматов Х.И.* Вариации космических лучей и облачного покрова практически не влияют на климат // Труды XXII Всерос. конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2018», 2018, Санкт-Петербург. С. 3-6. DOI: 10.31725/0552-5829-2018-3-6
- *Абдусаматов Х.И.* Лунная обсерватория для исследований климата Земли в эпоху глубокого похолодания. СПб.: Наука, 2017. – 128 с.
- *Абдусаматов Х.И.* Сравнительный анализ погрешности мониторинга энергетического бюджета Земли орбитальными космическими аппаратами и Лунной обсерваторией // В книге: Сборник тезисов докладов пятнадцатой Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". ИКИ РАН. 2017. С. 144. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32863425>
- *Абдусаматов Х.И.* Мониторинг климата Земли с поверхности Луны в эпоху глубокого похолодания // В книге: Сборник тезисов докладов пятнадцатой Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". ИКИ РАН. 2017. С. 145. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32863426>
- *Абдусаматов Х.И.* Мониторинг энергетического бюджета земли Лунной обсерваторией и орбитальными космическими аппаратами // Труды XXI всероссийской конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». СПб. 2017. С. 7-10.
- *Абдусаматов Х.И.* Лунная обсерватория для исследований отклонения энергетического баланса Земли от равновесного состояния и причин климатических изменений // Исследование Земли из космоса. 2016. № 5. С. 79-88. doi: 10.7868/S0205961416050018
- *Abdussamatov H.I.* The new Little Ice Age has started, Chapter 17 in: Evidence-Based Climate Science, 2nd Edn., Easterbrook, D. J. (Ed.), Elsevier, Amsterdam, Oxford, 2016, pp. 307–328. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-804588-6.00017-3>
- *Абдусаматов Х.И.* Началась квазивековая эпоха нового Малого ледникового периода // Сборник тезисов Одиннадцатой ежегодной конференции «Физика плазмы в Солнечной системе» 15-19 февраля 2016 г. ИКИ РАН, Москва. 2016 г. С. 187. <http://plasma2016.cosmos.ru/docs/Plasma2016-AbstractBook.pdf>
- *Абдусаматов Х.И.* Лунная обсерватория для исследований отклонения энергетического баланса Земли от равновесного состояния и причин климатических изменений // Сборник тезисов Одиннадцатой ежегодной конференции «Физика плазмы в Солнечной системе» 15-19 февраля 2016 г. ИКИ РАН, Москва. 2016 г. С. 188. <http://plasma2016.cosmos.ru/docs/Plasma2016-AbstractBook.pdf>
- *Абдусаматов Х.И.* Лунная обсерватория // Программа № 9 фундаментальных исследований Президиума РАН «Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд». Отчет за 2015 г. С. 312-321. <http://pr9.cosmos.ru/sites/pr9.cosmos.ru/files/report2015/9-Gerasimov.pdf>
- *Abdussamatov H.I.* Current long-term negative average annual energy balance of the Earth leads to the new Little Ice Age // Thermal Science. 2015. Vol. 19 (Suppl. 2). P. S279–S288. <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2015/0354-98361500018A.pdf>
- *Абдусаматов Х.И., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Тенденции и динамика нелинейных климатических изменений под действием долговременных вариаций солнечной постоянной и альбедо Бонда Земли // Вестник МАХ. 2015, № 3, С. 79-82.
- *Абдусаматов Х.И.* Энергетическая мощность 11-летнего солнечного цикла и ее зависимость от продолжительности цикла // Кинематика и физика небесных тел. 2015. Том 31, № 4. С. 54-60.
- *Абдусаматов Х.И., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Мониторинг энергетического баланса Земли из точки Лагранжа L1 // Оптический журнал. 2014. Том 81, № 1, С. 25-31.

21.01.2015 (обновлено 12.12.2021 г.)