

УДК 551.521

**ЛАБОРАТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ
РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ
САРАТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Ю. А. Складоров, М. Ю. Червяков, А. И. Котума

*Саратовский государственный университет,
кафедра метеорологии и климатологии
E-mail: kafmeteo@mail.ru*

В статье рассматривается краткая история становления и развития лаборатории исследования составляющих радиационного баланса Земли. Приводятся результаты исследований и работы за последние пять лет.

Ключевые слова: радиационный баланс Земли, ИКОР, «Метеор-М» №1, поглощённая радиация, альbedo.

**EARTH'S RADIATION BALANCE COMPONENT LABORATORY
OF SARATOV STATE UNIVERSITY**

Yu. A. Sklyarov, M. Yu. Chervyakov, A. I. Kotuma

Brief history of formation and development of Earth's radiation balance research laboratory is discussed in the paper. The results of research and work for five years are given.

Key words: Earth's radiation balance, IKOR, «Meteor-M» №1, absorbed solar radiation, albedo.

29 мая 2008 года на расширенном заседании Ученого совета географического факультета СГУ состоялась презентация Учебно-научной лаборатории исследования составляющих радиационного баланса Земли. К этому времени положение о лаборатории было утверждено Ученым советом университета, подписан приказ ректора, руководителем лаборатории назначен профессор доктор технических наук, заведующий кафедрой метеорологии и климатологии Ю. А. Складоров.

Создание лаборатории явилось частью общего проекта реализации инновационной образовательной программы СГУ. Необходимость создания подобной лаборатории назревала уже давно, поскольку вопросами измерения составляющих радиационного баланса Земли в университете занимаются на протяжении нескольких десятков лет. За эти годы пройден большой путь от создания наземной измерительной аппаратуры, автоматической аэростатной аппаратуры до спутниковой измерительной техники. Работы выполнялись по ведомственным, государственным и международным программам, поддерживались средствами из государственного бюджета и различными грантами.

Важным фактором, сыгравшим роль в создании лаборатории, послужило то, что 19 марта 2007 г. университет получил лицензию Федерального космического агентства на осуществление космической деятельности (работы группы профессора Ю. А. Склярова). Таким образом, университет официально признан членом «клуба» организаций, ведущих космическую деятельность.

В сентябре 2009 г. состоялся запуск российского метеорологического спутника нового поколения «Метеор-М» №1. На спутнике установлена аппаратура ИКОР-М – «Измеритель коротковолновой отраженной радиации», созданная в СГУ под руководством Ю. А. Склярова. Ранее подобная аппаратура работала на спутниках «Метеор-3» №7 (1994–1995 гг.) и «Ресурс-01» №4 (1998–1999 гг.). Прибор входит в гелиогеофизический аппаратурный комплекс ГГAK-М.

Радиометр ИКОР предназначен для спутникового мониторинга уходящей отраженной коротковолновой радиации, являющейся одной из составляющих радиационного баланса Земли, и альbedo системы Земля–атмосфера. Данная информация может быть использована в различных моделях долгосрочных прогнозов погоды и исследованиях трендов изменения климата, а также для получения величин поглощенной солнечной радиации.

Первые регулярные данные со спутника стали поступать с ноября 2009 г. За каждые сутки спутник совершает 14 витков, таким образом (по данным на 1 марта 2014 г.) уже получена информация более чем с 7000 витков. Приём информации со спутника «Метеор-М» №1 производится в Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) Роскосмоса дважды в сутки, после чего данные поступают в СГУ для дальнейшей обработки.

На первом этапе производится обработка поступающих мгновенных данных при помощи разработанной специалистами СГУ программы «ИКОР-декодер». На этом уровне программа формирует текстовый файл, в котором в хронологическом порядке содержится следующая ежесекундная информация: номер информационного кадра радиометра ИКОР-М, бортовые дата и время каждого измерения, результаты измерения потока уходящей коротковолновой радиации (УКР) и температуры прибора.

Далее осуществляется привязка каждого измерения к телеметрической информации с помощью созданной программы «CoordReader». Для каждого измерения ИКОР-М производится поиск соответствующих ему телеметрических данных, затем осуществляется временная привязка к гринвичскому времени.

Третий уровень обработки позволяет осуществлять просмотр информации, содержащейся в банке данных, при помощи специальной

программы редактирования и анализа полей для ИКОР «IKOR Fields Editor» (на данную программу осенью 2013 года было получено свидетельство о государственной регистрации [1]). Программа позволяет оценить пространственно-временную изменчивость составляющих радиационного баланса любых регионов по выбору исследователя, а также визуализировать расположение витка спутника на физической карте Земли. Возможность масштабирования позволяет детально проанализировать любое из ежесекундных мгновенных измерений.

Программа позволяет строить карты составляющих радиационного баланса (уходящая коротковолновая радиация, альbedo, поглощенная радиация) по мгновенным и среднемесячным значениям, как в глобальном масштабе, так и по отдельным регионам.

Основная цель программы исследований – получение среднемесячных значений альbedo и поглощенной радиации, широтных распределений этих величин, глобальных значений альbedo и поглощенной радиации и оценка их вариаций, т. е. мониторинг альbedo и поглощенной радиации, их воздействие на изменение климата.

Особым направлением работы лаборатории является изучение солнечной постоянной. Для этих целей служит солнечный радиометр, каковым является измеритель солнечной постоянной (ИСП). Радиометр ИСП в различных модификациях принимал участие в работе на ИСЗ «Космос-1484» (1983 г), в уже упоминавшихся совместных российско-французских экспериментах на ИСЗ «Метеор-3» №7 и «Ресурс-01» №4. Во всех случаях результаты измерений публиковались в России и в зарубежных изданиях. Особенно плодотворным был период работы на ИСЗ «Метеор-3» №7, когда удалось обнаружить появление осцилляций солнечного потока при резких изменениях индексов солнечной активности.

В 2003 г. нам было сделано предложение об установке радиометра на геостационарный ИСЗ «Электро-Л». Прибор был полностью модернизирован как в технической, так и особенно в электронной его составляющих и получил название ИСП-2М. Запуск спутника был осуществлён 20 января 2011 года. На борту этого спутника был установлен измеритель ИСП-2М, заводской №02, предназначенный для прецизионных измерений интегральной энергетической освещённости прямой солнечной радиации (величины солнечной постоянной) в диапазоне 0,2...100 мкм в абсолютных единицах с погрешностью среднесуточного измерения – 0,01%.

ИСП-2М представляет собой единый модуль, содержащий механическую и электронную части. Механическая часть содержит двухкоординатную следящую систему с установленным на ней измери-

тельным блоком, который включает в себя два идентичных измерительных канала: один из них является основным, рабочим, и действует постоянно, второй – калибровочный, включается по внешней команде и служит в качестве бортового эталона для проверки рабочего канала. В каждом измерительном канале используется полостной приёмный элемент болометрического типа. Оба измерительных канала градуированы по представителю российского радиометрического эталона (Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова). Необходимо отметить, что вывод солнечного радиометра на геостационарную орбиту осуществлён впервые в мировой практике гелиофизических измерений.

Включение аппаратуры ИСП-2М состоялось 4 марта 2011 г. Информация с ИСП-2М принималась 4–7 марта. В этот период измеритель ИСП-2М работал в штатном режиме, все функции чётко выполнялись. Датчики температуры, контроль наведения, система поиска и слежения работали без сбоев. Данные регистрации позволили получить 8 серий наблюдений продолжительностью от 11 до 24 отсчётов радиации в различных сериях. Учитывая крайне неровные температурные условия измерительного блока, можно считать этот результат за все дни наблюдений вполне удовлетворительным. В отдельно взятых сериях (один и тот же день) прибор регистрирует 0,01 – 0,03%, т. е. единицы десятитысячных долей измеряемой величины. Уже это даёт возможность регистрировать развитие, например, отдельных солнечных пятен.

В период испытаний с 4 по 7 марта 2011 г. склонение Солнца менялось от минус 6,5° до минус 5,0°, т. е. Солнце находилось вблизи от плоскости небесного экватора. Каждые сутки космический аппарат все сильнее погружался в тень Земли, отмечались и другие затеняющие факторы. Наконец, захват Солнца прекратился, и аппаратура была выключена 17 марта 2011 г.

Дальнейшее включение прибора после достижения Солнцем склонений, превышающих плюс 10° (11 апр. 2011 г.), не привело к захвату Солнца.

Таким образом, эти первые испытания радиометра подтвердили возможность работы с относительной погрешностью (в его шкале) на уровне 0,01%. Геостационарная орбита привлекает тем, что при высоких склонениях Солнца появляются участки, где ежедневная продолжительность непрерывных наблюдений достигает 10–11 часов. Учёт всего опыта проведённых испытаний позволит устранить недочёты и обеспечить работу второго лётного образца радиометра именно в таком благоприятном режиме.

В связи с исследованиями СП значительное внимание уделялось проблеме солнечно-земных связей. Ряд работ опубликован совместно с медиками. Переменность потока излучения Солнца и его возможно-

го влияния на глобальный климат обсуждалась в монографиях и ряде публикаций. Можно упомянуть о работах по созданию солнечного фотометра: практическая разработка экспериментального образца была успешно завершена, основные теоретические положения и особенности конструкции опубликованы.

В настоящее время продолжается обработка научной информации, поступающей от радиометра ИКОР-М, работающего на ИСЗ «Метеор-М» №1 [2–9]. Для более подробного анализа деталей распределения поглощённой солнечной радиации разработан метод мультипликации, который был применён для меридиональных разрезов в широтной зоне $\pm 45^\circ$ широты вдоль экватора Земли, для которых были получены последовательности изображений среднемесячных распределений поглощённой солнечной радиации за каждый месяц. Метод позволяет исследовать появление, миграцию со временем и исчезновение областей с интересующим режимом поглощённой солнечной радиации. Для выбранных меридиональных разрезов также был произведён детальный анализ распределения поглощённой солнечной радиации. Для данных разрезов рассчитаны среднегодовые бюджеты поглощённой солнечной радиации и оценены зоны её накопления и стока. Построены широтно-временные разрезы поля компонент радиационного баланса Земли.

Особое внимание было уделено изучению зоны максимального поглощения солнечной радиации над Средиземным морем, величины поглощённой радиации достигают 430 Вт/м^2 . Высокое поглощение радиации в Средиземном море по сравнению с поглощением радиации над акваторией центральной Атлантики в летние месяцы связано с большой повторяемостью ясного неба (0–3 балла) над Средиземным морем (до 80%) в отличие от Центральной Атлантики (30–40%). В свою очередь, подобное распределение повторяемости ясного неба связано с существованием Азорского антициклона, отрог которого распространяется летом на Средиземное море и Южную Европу.

Произведена оценка изменчивости альбедо в течение 2010–2013 гг. для регионов Амазонской низменности и тропической Африки, а также для муссонных регионов Юго-Восточной Азии. Были получены результаты расчётов широтного распределения альбедо для массивов: Мировой океан, суша, Мировой океан и суша в целом. Оценена взаимосвязь широтного хода альбедо с широтным ходом облачности. Определён вклад облачности в альбедо на верхней границе атмосферы.

Выполнен анализ и получены оценки распределения альбедо и поглощённой солнечной радиации над различными регионами Земли, в том числе над регионами с муссонной активностью, регионами с возможностью зарождения Эль-Ниньо и Ла-Нинья и др.

Все результаты были представлены в виде докладов на научных школах, семинарах, конференциях международного, российского и регионального уровня, а также опубликованы в ведущих российских журналах и на сайте лаборатории исследования составляющих радиационного баланса Земли СГУ им. Н.Г. Чернышевского (<http://www.sgu.ru/structure/geographic/metclim/balans>).

На этом же сайте создан интернет-архив данных составляющих радиационного баланса Земли по результатам работы ИСЗ «Метеор-М» №1 в виде карт глобального распределения. Оперативность размещения материалов позволяет заинтересованным структурам использовать эти данные в научно-практических целях.

В настоящее время завершаются работы по заказу предприятий и организаций Федерального космического агентства по созданию новых образцов аппаратуры для участия в новых перспективных программах. Модернизированная аппаратура ИСП-2М и ИКОР-М уже передана заказчикам для установки на спутники. Стоит отметить, что столь долговременные измерения отражённых от Земли потоков солнечной коротковолновой радиации и величин солнечной постоянной с ИСЗ, а также построение глобальных карт уходящей коротковолновой радиации является единственными в СССР и России.

Таким образом, из представленного краткого обзора видно, что выполнен большой объем теоретических и опытно-конструкторских разработок по проблеме исследований радиационного баланса Земли. В процессе работ по созданию аппаратуры получено 14 авторских свидетельств и патентов на изобретения, 4 программы для ЭВМ имеют государственную регистрацию. Результаты проделанной работы были опубликованы в монографии в 2009 г. [10].

Наибольший вклад в развитие исследований по тематике РБЗ внесли следующие сотрудники: кандидаты наук Ю. И. Бричков, А. В. Предтеченский, А. И. Котума, Н. В. Семенова, ведущие специалисты В. К. Сахаров, С. А. Клочков, В. А. Воробьев, инженер Т. И. Кудряшова, большую помощь в работе группы оказывает заведующий лабораторией астрономии и геофизики НИИ МФ д-р физ.-мат. наук. М. Б. Богданов. Понятно, что без внимания и огромной помощи специалистов и руководства ряда саратовских предприятий выполнение таких работ не было бы возможным.

В настоящее время ведутся обширные исследования ряда специфических вопросов по теме радиационного баланса Земли, реакции земной климатической системы. В ближайших планах издание атласа по собственным материалам спутниковых измерений. Создание специализированной учебно-научной лаборатории исследования составляющих РБЗ существенно укрепит материально-техническую базу для дальнейшего развития исследований. В результате выполнения части Инновационно-

образовательной программы университета для создаваемой лаборатории приобретены уникальное оборудование, вычислительная техника, программное обеспечение, осуществлена модернизация закрепленных помещений, проведена стажировка ряда преподавателей и сотрудников. Остается добавить, что лаборатория исследования РБЗ может служить базой для работы аспирантов, студентов, выполнения курсовых работ, прохождения практики студентами университета.

Библиографический список

1. Котума А. И., Скляр Ю. А., Червяков М. Ю. Программа редактирования и анализа полей для ИКОР «IKOR Fields Editor» // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем: Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2013. №9. С. 73.
2. Скляр Ю. А., Воробьев В. А., Котума А. И., Червяков М. Ю., Фейгин В. М. Измерения компонентов радиационного баланса Земли с ИСЗ «Метеор-М» №1. Аппаратура ИКОР-М // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9, № 2. С. 173–180.
3. Скляр Ю. А., Воробьев В. А., Котума А. И., Червяков М. Ю., Фейгин В. М. Алгоритм обработки данных наблюдений уходящей коротковолновой радиации с ИСЗ «Метеор-М» №1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9, № 3. С. 83–90.
4. Скляр Ю. А., Фейгин В. М., Воробьев В. А., Котума А. И., Семёнова Н. В., Червяков М. Ю. Первые результаты обработки со спутника «Метеор-М» № 1 // Погода и климат: новые методы и технологии исследований: сб. науч. тр. / под ред. Н. А. Калинина. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2010. С. 52–56.
5. Скляр Ю. А., Червяков М. Ю., Воробьев В. А., Котума А. И., Фейгин В. М. Особенности распределения поглощённой солнечной радиации в 2010–2012 годах по данным с ИСЗ «Метеор - М» №1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 2. С. 272–283.
6. Скляр Ю. А., Червяков М. Ю., Воробьев В. А., Котума А. И., Фейгин В. М. Особенности распределения поглощённой солнечной радиации в 2010–2012 годах по данным с ИСЗ «Метеор-М» №1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 4. С. 107–117.
7. Скляр Ю. А., Червяков М. Ю., Воробьев В. А., Котума А. И., Фейгин В. М. Некоторые результаты обработки данных поглощённой солнечной радиации и альбедо, полученных с помощью аппаратуры ИКОР-М // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2013. Т. 13, вып. 2. С. 30–33.
8. Червяков М. Ю., Скляр Ю. А., Котума А. И. Наблюдения уходящей коротковолновой радиации с искусственного спутника Земли «Метеор-М» №1 // Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты: тр. XVI Междунар. шк.-конф. мол. ученых / РАН, Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова. М.: Ин-т физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, 2012. С. 212–215.
9. Chervyakov M. Y., Sklyarov Y. A. The Measurement of the Outgoing Short-Wave Radiation (OSR) from Satellite «Meteor-M» № 1 // Представляем научные достижения миру. Естественные науки: материалы науч. конф. мол. ученых «Presenting Academic Achievements to the World». Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2012. Вып. 3. С. 23–26.
10. Скляр Ю. А., Бричков Ю. И., Семенова Н. В. Радиационный баланс Земли. Введение в проблему. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2009. 185 с