

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ**СИМПОЗИУМ ПО РАДИАЦИИ
(Вена, 14—19 августа 1961 г.)**

С 14 по 19 августа 1961 г. в Институте метеорологии и геофизики Венского университета состоялся очередной симпозиум по радиации, созданный Комиссией по радиации Международной ассоциации метеорологии и физики атмосферы, входящей в состав Международного союза геофизики и геодезии. В симпозиуме приняли участие ведущие специалисты по атмосферной оптике и некоторым смежным дисциплинам (инфракрасной спектроскопии, физике верхней атмосферы и др.) из многих стран Европы, Америки и Азии. Советский Союз был представлен делегацией, в которую вошли акад. В. Г. Фесенков (глава делегации), проф. М. И. Будыко, проф. Е. В. Пясковская-Фесенкова, автор и Т. И. Галанина (переводчик). В отличие от предыдущих симпозиумов по радиации, венский симпозиум сосредоточил внимание участников на наиболее важных проблемах, в особенности требующих совместных усилий специалистов разных областей знаний. В соответствии с этим было проведено шесть заседаний по отдельным проблемам, чему предшествовало вводное заседание. Следует с удовлетворением отметить, что обсуждение всех смежных проблем прошло при активном участии специалистов в этих областях знаний.

На вводном заседании после вступительного слова президента Комиссии по радиации проф. Ф. Мёллера (ФРГ) и приветственной речи проф. Ф. Штейхаузера (Австрия) один из старейших австрийских специалистов в области актинометрии и атмосферной оптики проф. Ф. Лаушер сделал доклад об истории исследований по радиации в Австрии. Упомянув об исследованиях П. Стефана, Л. Больцмана и других выдающихся австрийских физиков, проф. Ф. Лаушер рассказал затем о наиболее важных результатах, принадлежащих таким классикам атмосферной оптики, как П. Пертнер, В. Траберт, Ф. Экснер, В. Шмидт и др. Вводное заседание было завершено «президентским адресом» проф. Ф. Мёллера на тему «Вертикальный профиль температуры, рассчитанный на основе учета радиационно-конвективного равновесия». В этой работе, содержащей результаты исследований Ф. Мёллера и С. Манабэ, выполнены расчеты вертикального распределения температуры воздуха в рамках теории лучистого равновесия. Как и в более ранних исследованиях по этому вопросу, авторы получили сильные сверхадиабатические вертикальные градиенты температуры в тропосфере, совершенно не соответствующие реально наблюдаемому градиентам. Основные черты вертикального профиля температуры на больших высотах характеризуются наличием «размытого» минимума температуры, равного примерно -90°C на уровне 11 км, и медленным возрастанием температуры в вышележащих слоях до 20°C на уровне 50 км. Осуществленный во второй части работы приближенный учет теплообмена за счет конвекции и фазовых превращений воды позволил получить близкий к наблюдаемому вертикальный профиль температуры в тропосфере. Температура в стратосфере осталась при этом практически неизменной по сравнению с условиями радиационного равновесия.

Рассмотрим теперь кратко научные результаты, доложенные на заседаниях, посвященных обсуждению различных проблем.

1. «Радиационный баланс и климат аридных зон; их значение в гидрологии и сельском хозяйстве. Практическое использование солнечной радиации в аридных зонах» (предс. Г. Д. Робинсон — Англия). В открывшем заседании докладе М. И. Будыко «Радиационный климат аридных зон» были охарактеризованы построенные автором и его сотрудниками мировые карты месячных и годовых сумм радиационного баланса подстилающей поверхности и суммарной радиации. Один из важных выводов, вытекающих из анализа карт, состоит в том, что радиационный климат отдельных климатических областей аридных зон существенно различается. Это позволяет предложить классификацию климатических областей соответственно условиям радиационного

режима. На основе использования данных о закономерностях радиационного режима М. И. Будыко рассмотрел прикладные проблемы, связанные с определением испарения и некоторыми задачами биоклиматологии. В интересном замечании Г. Д. Робинсона по докладу М. И. Будыко было сообщено, что сравнение результатов наблюдений радиационного баланса в различных климатических зонах с данными мировых карт радиационного баланса обнаружило исключительно хорошее согласие (существенно, что упомянутые результаты наблюдений не были использованы при построении карт).

Х. Хинцпетер (ГДР) в докладе «Приборы для измерения радиации» обсудил проблему сетевых измерений радиационного баланса и его составляющих. Многообразие применяемых в настоящее время актинометрических приборов делает исключительно актуальной задачу сравнения различных приборов. Главное содержание работы Х. Хинцпетера составил всесторонний сравнительный анализ основных моделей балансов и пиранометров.

Доклад Е. Ф. Флаха (Швейцария) «Возможность статистики солнечной радиации» содержал краткую характеристику мировой сети актинометрических наблюдений, охватывающей в настоящее время 530 пунктов, в большей части которых измеряется только суммарная радиация (лишь одна десятая всех станций осуществляет измерения радиационного баланса или его компонент). Докладчик подчеркнул, что крайне недостаточной является актинометрическая сеть в большей части зон аридного климата.

Обширный доклад Ф. А. Брукса (США) «Обзор специфики воздействия солнечной радиации в сельском хозяйстве» был посвящен обсуждению проблемы влияния теплового и светового режимов на растительность и в первую очередь рассмотрению особенностей реакций растительности на спектральный состав радиации. В этой связи Ф. А. Брукс обсудил также вопросы методики спектральных измерений солнечной радиации и оптических свойств растительности и высказал соображения о наиболее целесообразной форме представления спектрального распределения энергии излучения. Эти соображения приводят к выводу о целесообразности использовать в качестве независимой переменной логарифм длины волны. Докладчик отметил условность лабораторных опытов по исследованию влияния спектрального состава радиации на растительность и подчеркнул необходимость систематических измерений спектрального состава коротковолновой радиации в естественных условиях. Не менее важное значение имеют исследования закономерностей радиационного режима наклонных поверхностей.

Последним на рассматриваемом заседании был доклад Х. Табора (Израиль) «Требования к метеорологическим данным, используемым при проектировании „солнечных“ машин». В этом докладе описаны основные типы «солнечных» машин, применяемых для практического использования солнечной радиации, и обсуждены требования к данным о радиационном режиме, необходимым для расчета наиболее эффективных условий работы преобразователей солнечной энергии в тепловую или механическую. Специальное внимание обращено на необходимость более всестороннего изучения радиационного режима наклонных поверхностей.

2. «Перенос излучения в рассеивающих и поглощающих средах» (предс. З. Секера — США). Основной целью этой сессии, как отметил З. Секера во вступительном докладе, было обсуждение тех особенностей, которые налагают на перенос излучения в рассеивающих средах влияние поглощения. Эта проблема была обстоятельно рассмотрена в двух докладах Ж. Ленобль (Франция), изложившей результаты теоретических и экспериментальных лабораторных исследований особенностей переноса радиации в сильно рассеивающих средах при наличии поглощения. В теоретической части работы обоснован приближенный метод расчета переноса излучения с учетом поляризационных эффектов и при наличии анизотропного рассеяния. Лабораторные эксперименты дали возможность осуществить опытную проверку теории, а также изучить зависимость углового распределения яркости в зависимости от параметров поглощающей и рассеивающей сред.

В докладе Д. Дерманджана (США) «Угловые характеристики рассеяния и поляризации элементов облака и дымки для видимой и инфракрасной радиации» обсуждены результаты расчетов на основе точной теории (с помощью электронной вычислительной машины) оптических характеристик полидисперсных аэрозоль: эффективных сечений рассеяния и общего ослабления, индикатрис рассеяния, коэффициентов экстинкции. Распределение частиц аэрозоль по размерам описывалось несколько видоизмененной формулой А. Х. Хргиана и И. П. Мазина, а вертикальное распределение концентрации аэрозоль было взято по данным К. Юнге. Результаты расчетов коэффициента экстинкции для дымки совпадают с аналогичными более ранними данными докладчика, но в случае облаков получаются примерно вдвое большие величины, главным образом вследствие различий в характере распределения частиц по размерам, принятого в предыдущей и последней работах. Проблема ослабления инфракрасной радиации в атмосфере рассматривалась также в докладе Д. В. Даве (Англия) «Наблюдения излучения неба в инфракрасном континууме и кажущийся

коэффициент поглощения водяным паром». На основе измерений излучения неба в области волновых чисел около 1000 см^{-1} , выполненных в Аскоте (близ Лондона), докладчик рассчитал величины коэффициента непрерывного поглощения для трех волновых чисел, приписав поглощение только водяному пару. Обнаружены очень большие вариации коэффициента поглощения от дня ко дню, которые объясняются главным образом влиянием аэрозольного рассеяния, а также ошибками определения содержания водяного пара.

Автор этой заметки изложил содержание доклада К. С. Шифрина и О. А. Авасте (СССР) «Поле коротковолновой радиации в случае ясного неба», а также работы В. С. Атропенко, М. С. Малкевича и Е. М. Фейгельсон (СССР) о поле уходящей коротковолновой радиации. Оба эти исследования посвящены разработке методов расчета переноса коротковолновой радиации в условиях реальной атмосферы и содержат обширные результаты вычислений основных характеристик поля коротковолновой радиации в атмосфере. Конкретное содержание упомянутых работ подробно описано в ряде статей, опубликованных в советских научных изданиях.

В коротком докладе Г. У о л т о н а (Англия) «Рассеянный свет, приходящий по различным направлениям» обсуждена постановка и метод решения задачи о переносе излучения в рассеивающей и поглощающей средах.

Оживленное обсуждение вызвали доклады, посвященные исследованию яркости сумеречного неба. В. Г. Ф е с е н к о в (СССР) рассмотрел в докладе «Сумерки как метод исследования оптических свойств верхних слоев земной атмосферы» совокупность вопросов, касающихся использования результатов измерения яркости сумеречного неба для получения информации об оптических свойствах верхней атмосферы, обратив при этом особое внимание на важность учета явления многократного рассеяния света. В работе Ф. Е. В о л ь ц а (США) «Рассеяние в атмосфере в течение сумерек и поглощение озоном» сообщены результаты измерений яркости сумеречного неба для пяти промежутков длин волн в видимой области спектра, выполненных в обсерватории Блу Хилл с целью получить данные о концентрации аэрозолей в верхних слоях атмосферы, а также о вариациях общего содержания озона.

Значительная группа работ касалась проблемы рассеяния и поляризации света в атмосфере. В доложенной Е. В. П я с к о в с к о й-Ф е с е н к о в о й (СССР) работе «Некоторые результаты исследований атмосферного рассеяния и поляризации дневного света неба» были приведены новые результаты анализа данных измерений яркости и поляризации дневного света неба в Алма-Ата и Ливийской пустыне. Главное внимание уделено при этом определению поляризации света при рассеянии на аэрозолях, оценке вклада многократного рассеяния и отражения от земной поверхности, изучению аэрозольной индикатрисы рассеяния, а также связи между поляризацией света и прозрачностью атмосферы. Наряду с этим приведены новые данные измерений спектральной поляризации дневного света неба и некоторые другие результаты.

Несколько близких к обсуждаемому направлению исследований были представлены симпозиуму и распространены среди участников в виде развернутых тезисов, но не докладывались ввиду недостатка времени. К числу таких исследований принадлежит работа К. Бульриха (ФРГ) «Измерение радиации неба и степени ее поляризации в Гренландии, июнь 1961 г.», основная цель которой состояла в сравнении результатов измерения яркости и поляризации дневного света неба в диапазоне длин волн $0,401-0,853 \text{ м}$, осуществленных в Гренландии (чистый воздух, большое альbedo земной поверхности) и Майнце (замутненная атмосфера, малые значения альbedo). Автор отметил, что, несмотря на исключительную чистоту арктического воздуха, влияние аэрозольного рассеяния остается существенным (в частности, индикатриса рассеяния заметно отличается от ралеевской). Специфические условия переноса излучения создает наличие границы с высоким альbedo. Это объясняет, например, малые значения поляризации света неба.

В работе П. Бенера (Швейцария) «Сравнение измеренных и рассчитанных величин ультрафиолетовой рассеянной и суммарной радиации» показано, что только в зимних условиях имеет место удовлетворительное согласие измеренных в Давосе (высота 1590 м над уровнем моря) и рассчитанных для ралеевской атмосферы осредненных за сезон значений монохроматических потоков рассеянной и суммарной ультрафиолетовой радиации в ограниченных интервалах высот Солнца ($20-50^\circ$) и длин волн ($330-380 \text{ м}$). Расхождения наблюдаемых и вычисленных значений в остальных случаях обусловлены главным образом влиянием аэрозольного рассеяния и закрытостью горизонта в пункте наблюдений.

Г. Корб (ФРГ) изложил в работе «Некоторые результаты теоретических исследований пропускания, отражения и поглощения солнечной радиации в облаках» данные приближенных расчетов пропускания, отражения и поглощения солнечной радиации слоистыми облаками, имеющими вертикальную протяженность, равную 1 и 5 км . Сравнение с результатами самолетных измерений пропускания и отражения обнаружило вполне удовлетворительное согласие вычисленных и измеренных значений. Найденное при таком сравнении расхождение величин поглощения может быть объяснено влиянием поглощения радиации в слое воздуха между облаком и самолетом.

Показано, что появление облаков влечет за собой лишь сравнительно небольшое увеличение поглощения солнечной радиации во всей толще атмосферы.

3. «Проблемы поглощения в своих свойствах атмосферных газов» (предс. У. Л. Годсон — Канада). Во вступительном докладе У. Л. Годсона наряду с общей характеристикой проблемы был дан анализ результатов вычисления поглощения инфракрасной радиации на основе использования различных моделей полос поглощения, а также обсуждена возможность использования так называемого приближения Куртца — Годсона для упрощенного учета вертикальной неоднородности атмосферы как поглощающей среды. Сделанные на этом заседании доклады касались главным образом интерпретации результатов измерений поглощения инфракрасной радиации, выполненных в естественных и лабораторных условиях с помощью приборов высокой разрешающей силы.

В обзорном докладе У. С. Бенедикта (США) «Теория ширины и интенсивности линий в спектре водяного пара» отмечено, что, несмотря на большие успехи теории, она в первую очередь способствует пониманию наблюдаемых закономерностей, но не дает еще возможности рассчитать полуширину и интенсивность всех линий. Делая обзор данных о вращательно-колебательном и вращательном спектрах поглощения водяного пара, докладчик подчеркнул важность совместных экспериментальных исследований тонкой структуры спектра и теоретических расчетов. Отмечено, что согласно современным данным лорентцев контур линий наиболее удовлетворительно отвечает реальным атмосферным условиям. Только в области крыльев линий (на расстоянии 4—5 полуширин от центра) наблюдаются существенные отклонения от лорентцева контура. При этом для водяного пара наблюдаемое поглощение больше, а для углекислого газа меньше, чем это получается в предположении лорентцева контура. Влияние «саморасширения» линий характеризуется тем, что по данным эксперимента эффективный поперечник взаимных столкновений молекул водяного пара примерно в пять раз превосходит эффективный поперечник столкновений молекул водяного пара и азота. У. С. Бенедикт доложил также часть результатов работы Е. К. Плайлера «Лабораторные измерения поглощения радиации в водяном паром и углекислым газом», в которой приведены количественные характеристики поглощения инфракрасной радиации водяным паром и углекислым газом.

Д. Т. Хотон (Англия) в докладе «Интерпретация тонкой структуры теллурического спектра» отметил трудность интерпретации спектров поглощения, измеренных при низкой разрешающей силе спектрального прибора, ввиду сильного перекрытия спектральных линий в атмосфере. Подробно обсужден вопрос о зависимости общего поглощения, обусловленного отдельной линией, от основных факторов (количество поглощающего излучение вещества, стратификация атмосферы). В этой связи выяснена возможность определения среднего атмосферного давления по величине поглощения радиации в линии. Решение аналогичной задачи о средней температуре признано невозможным, так как температурная зависимость поглощения является слишком слабой.

Ф. Саиди (Сирия), сделавший доклад «Континуум и линии водяного пара с высоким вращательным квантовым числом», сообщил о результатах измерений поглощения солнечной радиации всей толщей атмосферы в окне прозрачности 8—13 μ . По данным этих измерений определен коэффициент экстинкции для волновых чисел 832, 901 и 1159 $см^{-1}$. Обнаружена высокая корреляция между коэффициентом экстинкции и общим содержанием водяного пара в атмосфере, что позволяет приписать поглощение в непрерывном спектре водяному пару. Попытка найти корреляцию между прозрачностью атмосферы в «окне» и видимой области спектра (и, следовательно, установить влияние аэрозольного ослабления инфракрасной радиации) оказалась успешной только для волнового числа 901 $см^{-1}$. Это дает основание считать, что ослабление инфракрасной радиации аэрозолями, как правило, пренебрежимо мало. Показано, что непрерывное поглощение радиации в «окне» может быть объяснено в предположении существования двух линий с лорентцевым контуром, расположенных по обе стороны от «окна» (200 и 1550 $см^{-1}$). Обнаружена температурная зависимость непрерывного поглощения. Получены «кривые роста» для пяти линий водяного пара и по этим данным определены полуширины и общие интенсивности некоторых линий.

Результаты определения коэффициента экстинкции путем измерения прозрачности атмосферы в горизонтальном направлении на расстояниях 200 и 400 м для более далекой области инфракрасного спектра (14—20 μ) были изложены К. Биггеллом (Англия) в докладе «Непрерывное ослабление радиации в атмосфере между 11,1 и 20,1 μ ». Докладчик обнаружил в этом случае значительное влияние аэрозольного ослабления. В упомянутой области спектра (14—20 μ) коэффициент непрерывного поглощения водяным паром увеличивается от 0,6 до 3,0 $см^2/г$ с ростом длины волны.

В докладах Д. Н. Говарда (США) «Теория и результаты измерений спектра озона при высоком разрешении», а также М. Мижота (Бельгия) и А. Х. Гебб и (Англия) «Инструментальные проблемы» приведены результаты измерений тонкой структуры инфракрасного спектра поглощения атмосферы, выполненных в обсерватории Юнгфрауях (Швейцария).

Д. Н. Говард, сделавший в своем докладе обзор данных об инфракрасном спектре поглощения озона, показал, что расчеты положения и интенсивности линий в $9,6 \mu$ полосе озона, выполненные Л. Д. Капланом, вполне удовлетворительно согласуются с данными наблюдений. М. Мижот сообщил о готовящемся к печати новом атласе спектральных линий для области спектра поглощения атмосферы от $0,75$ до $1,2 \mu$. А. Х. Гебби описал установку с интерферометром Майкельсона, предназначенную для исследований тонкой структуры спектра поглощения.

Описанию результатов лабораторных исследований инфракрасных спектров поглощения различных компонент атмосферы были посвящены доклады Д. Х. Шоу (США) «Обзор лабораторных данных» и Ч. Д. Уолшоу (Англия) «Излучение и поглощение радиации $9,6 \mu$ полосой озона». Ч. Д. Уолшоу привел эмпирическую формулу для общего поглощения, обусловленного $9,6 \mu$ полосой озона, и сообщил, что по уточненным данным интегральное поглощение (площадь) полосы составляет 1043 см^{-1} . Ч. Д. Уолшоу отметил также, что теоретические расчеты функции поглощения $9,6 \mu$ полосы озона (с учетом вычисленных положений, полуширин и интенсивностей всех линий, принадлежащих полосе) находятся в хорошем согласии с экспериментом.

В докладах Г. Н. Плэсса (США) «Теоретические расчеты интенсивности линий для водяного пара и углекислого газа» и Л. Д. Каплана (США) «Теория 15μ полосы углекислого газа и данные, необходимые для расчетов излучения атмосферы», была развита теория инфракрасных спектров поглощения водяного пара и углекислого газа, а также приведены некоторые результаты расчетов функций поглощения. Так, например, Г. Н. Плэсс продемонстрировал таблицы функции пропускания для различных областей спектров поглощения водяного пара и углекислого газа, а также сравнил результаты расчетов при различных предположениях о структуре полос поглощения (для разных моделей полос). Результаты этих вычислений обнаружили заметную температурную зависимость поглощения. Л. Д. Каплан осуществил новые расчеты поглощения радиации в 15μ полосе углекислого газа с учетом различного изотопного состава последнего. Результаты вычислений интегрального поглощения хорошо согласуются с экспериментальными данными.

4. **Взаимодействие радиации и движения сплошной среды** (предс. Ф. Мёллер — ФРГ). Произнеся вступительное слово, Ф. Мёллер изложил затем результаты работы С. Манабе (США) «Численные расчеты равновесного распределения температуры в атмосфере». В этой работе предложена схема численного расчета вертикального распределения температуры в рамках теории лучистого равновесия. Вычисления сделаны для девятислойной модели атмосферы в интервале высот от 0 до 30 км и диапазоне широт $-0-85^\circ$ с. ш. для четырех сезонов. Расчеты обнаруживают рост высоты тропопаузы с уменьшением широты, но не дают такой высокой тропопаузы, какая в действительности существует на экваторе. Вычисления и сопоставлены радиационные изменения температуры, обусловленные различными компонентами атмосферы, получающиеся в предположении о лучистом равновесии и по заданному вертикальному распределению температуры.

Я. Минтц (США) в докладе «Общая циркуляция планетарных атмосфер» сделал обзор теоретических исследований по общей циркуляции. Интересно прослежена автором эволюция общей циркуляции в предположении, что атмосфера первоначально находится в покое. Высказаны качественные соображения о характере циркуляции в атмосферах Марса и Венеры.

Е. А. Спигел (США) изложил как содержание своего доклада «Уравнение теплопроводности для излучающей среды», так и работы Р. М. Гуди (США) «Влияние радиации на ячеистую конвекцию». Среди участников симпозиума был распространен также текст вводного доклада отсутствовавшего инициатора проведения этого заседания проф. Р. М. Гуди «Взаимодействие радиации и движения сплошной среды». Все эти материалы наиболее близко затрагивают обсуждавшуюся проблему.

Подчеркнув во вводном докладе важную роль радиации как фактора динамического режима атмосферы, Р. М. Гуди рассмотрел приближенное схематическое решение ряда простых гидродинамических задач с целью достичь ясного понимания физической стороны дела. Была решена, например, задача о конвекции между двумя параллельными пластинками в среде, поглощающей и излучающей радиацию (аналогичная задача рассматривалась и Е. А. Спигелом). Показано, что влияние радиации значительно стабилизирует конвекцию. В условиях атмосферы критическое значение числа Рэлея, определяющее наступление режима конвекции, с учетом влияния радиации может на пять порядков величины превышать соответствующее значение, полученное для диатермической среды. Р. М. Гуди описал схему лабораторного эксперимента, предназначенного для опытной проверки этих теоретических результатов. Рассмотрена также задача о распространении крупномасштабных возмущений в атмосфере с учетом влияния поля излучения.

Основное внимание в докладе Е. А. Спигела уделено проблеме релаксации возмущений поля температуры, возникающих в первоначально изотермической среде. Наиболее просто могут быть проанализированы предельные случаи слабо поглощающей

(оптически тонкой) и сильно поглощающей (оптически толстой) среды. В первом случае лучистая теплопередача подчиняется закону Ньютона (пропорциональна величине флуктуации температуры). Во втором — имеет место так называемое диффузионное приближение, т. е. лучистый теплообмен действует аналогично теплопроводности, и может быть введен коэффициент лучистой теплопередачи аналогично коэффициенту теплопроводности. Е. А. Спигелом рассмотрена также задача о конвективной неустойчивости с учетом влияния поля излучения.

В докладе Г. Н. Гаевской, К. Я. Кондратьева и К. Е. Якушевой (СССР) «Лучистый приток тепла и тепловой режим приземного слоя атмосферы» сделана попытка решить задачу о физической природе теплообмена в приземном слое атмосферы. Авторами предложен новый способ расчета лучистого притока тепла, выполнены измерения лучистого притока тепла в приземном слое и на этой основе решена нестационарная задача о тепловом режиме воздуха вблизи земной поверхности с учетом турбулентного и лучистого притоков тепла. Показано, что изменения температуры воздуха за счет турбулентной и лучистой теплопередачи существенно неаддитивны, и это означает, что оценки изменений температуры, обусловленных одним из процессов теплопередачи, не имеют решающего значения с точки зрения понимания природы теплообмена. Установлено, что лучистый приток тепла является важным фактором теплового режима приземного слоя атмосферы.

М. А. Эстоки (Гавайские о-ва) в докладе «Исследования пограничного слоя атмосферы с учетом радиационных эффектов» сообщил результаты расчетов полей метеорологических элементов вблизи земной поверхности на основе полуэмпирической теории турбулентности с учетом радиационных потоков тепла в граничных условиях задачи. В духе полуэмпирической теории турбулентности выполнена также работа «Лучистый приток тепла за счет длинноволновой радиации и турбулентная теплопроводность вблизи земной поверхности», доложенная У. Р. Эллиотом и Д. У. Стивенсом (США). Используя табличный метод Д. Л. Брукса, авторы рассчитали радиационные изменения температуры воздуха для условий почти нейтральной устойчивости атмосферы и сильного ветра. По разности наблюдаемых и радиационных изменений температуры был вычислен турбулентный поток тепла в слое $0-400$ м, а затем найден вертикальный профиль коэффициента турбулентного перемешивания. Коэффициент обмена возрастает с высотой до уровня 60 м, а затем уменьшается до нуля вблизи 400 м, где турбулентный поток тепла близок к нулю.

Последний доклад на рассматриваемом заседании, сделанный Б. Гаурвицем, «Суточные и полусуточные вариации в слое от 80 до 100 км», не имел прямого отношения к проблематике заседания. Эта работа содержала оценки суточного хода давления и температуры по радиометеорным наблюдениям скорости ветра на высотах от 80 до 100 км.

5. «Тепловые эффекты радиации в верхней атмосфере» (предс. К. Я. Кондратьев — СССР). Во вступительном докладе председатель заседания, обосновав актуальность обсуждаемой проблемы, изложил результаты работ по теории вертикального распределения температуры в верхних слоях атмосферы, выполненных на кафедре физики атмосферы Ленинградского университета. В работе Г. М. Шведа, рассмотренной в докладе, построена теория вертикального распределения температуры на высотах от 30 до 80 км в предположении о существовании лучистого равновесия. Ю. П. Сулов выполнил расчеты изменения температуры с высотой в термосфере, учтя приток тепла за счет поглощения ультрафиолетовой солнечной радиации и передачу тепла в нижележащие слои, обусловленную молекулярной теплопроводностью. О. П. Филипович сделала сравнительные оценки разнообразных притоков тепла, которые могут иметь место в термосфере и экзосфере.

Л. Р. Мегилл (США) оценил в своем докладе «Ожидаемые эффекты в верхней атмосфере в присутствии высокочастотных электромагнитных полей с большой плотностью излучения» интенсивность излучения оптического диапазона, генерируемого в ионосфере под влиянием искусственно созданного электрического поля узконаправленного пучка мощной у. к. в. радиации, посылаемой с земной поверхности (поток энергии на высоте 100 км составляет около 1 вт/м^2). Показано, что наиболее интенсивно (около 500 *рэлеев*) возбуждаемое мощной у. к. в. радиацией излучение молекулярного кислорода вблизи $1,58 \mu$. Сравнимо по интенсивности (около 100 *рэлеев*) излучение молекулярного кислорода около $0,85 \mu$. Так как интенсивность возбуждаемого излучения находится в прямой зависимости от концентрации излучающего газа, наличие излучения столь заметной интенсивности дает основание считать возможной разработку метода определения концентрации молекулярного кислорода по интенсивности его излучения вблизи указанных длин волн. Рассматривая упомянутую задачу, Л. Р. Мегилл показал, что функция распределения электронов по энергиям существенно отличается от максвелловской.

В докладе Л. Д. Каплана (США) «Метод Куртиса для расчета потоков инфракрасной радиации в верхней атмосфере» были изложены результаты неопубликованной работы Куртиса, в которой развита теория переноса длинноволновой радиации для статистической модели полосы поглощения.

Д. Т. Х о т о н (Англия) в докладе «Современные исследования в Оксфорде по переносу излучения в нижней стратосфере» сообщил результаты расчета радиационных изменений температуры в стратосфере по данным о тонкой структуре спектра поглощения озона вблизи волны 10 μ , при различных предположениях о вертикальном профиле температуры (расчеты выполнены схематически, для одной или нескольких линий поглощения). Показано, что независимо от принятого вертикального распределения температуры всегда наблюдается переход от радиационного нагревания в нижней стратосфере к охлаждению в верхней стратосфере.

К. Д. Р о д ж е р с и Ч. Д. У о л ш о у (Англия) обосновали в докладе «Ошибки в величинах радиационного нагревания, обусловленные использованием приближения Куртиса — Годсона» возможность применения приближения Куртиса — Годсона для расчета радиационных изменений температуры на высотах от 0 до 80 км. Этот вывод сделан на основе сопоставления результатов точных (лорентцев контур линий и учет его трансформации с высотой) и приближенных (введение средневзвешенного давления по Куртису — Годсону) расчетов радиационных изменений температуры для стандартных стратификаций атмосферы. Вычисления проделаны для линий различных компонент атмосферы (водяной пар, углекислый газ, озон). Расхождение приближенных и точных величин никогда не выходит за пределы долей процента.

В завершившем заседании докладе Д. Л о н д о н а (США) «Поглощение солнечной радиации в стратосфере и мезосфере» приведены результаты расчета радиационного нагревания атмосферы за счет поглощения ультрафиолетовой солнечной радиации на высотах от 30 до 80 км. Для осуществления этих расчетов докладчик обобщил имеющиеся данные о широтных и сезонных вариациях вертикального распределения озона и заново рассчитал зависимость высот проникновения ультрафиолетовой солнечной радиации в атмосферу от длины волны. Окончательные результаты расчетов представлены в виде вертикальных профилей радиационного нагревания атмосферы, обусловленного поглощением ультрафиолетовой солнечной радиации озонном и кислородом. Вычислено также меридиональное сечение среднегодовых величин суммарного радиационного нагревания. Основным источником ошибок расчета автор считает ненадежность данных о пространственном распределении концентрации озона на больших высотах.

6. «Измерения радиации в свободной атмосфере, включая использование ракет и спутников» (предс. Д. К. Уорк — США). Четыре доклада на этом заседании касались использования спутников для исследования поля излучения Земли в планетарном масштабе, а остальные три доклада содержали рассмотрение данных измерений с помощью автоматических стратостатов.

Председатель заседания Д. К. У о р к после краткого вступительного слова изложил содержание своей и Г. Ямамото работы «Данные по радиации со спутника Тайрос II и их метеорологическое значение». На спутнике был установлен пятиканальный радиометр с малым углом зрения (около 5°) для измерения радиации от Земли в следующих областях спектра: 1) полоса водяного пара в интервале 6—6,5 μ , 2) окно прозрачности атмосферы в диапазоне 8—12 μ , 3) отраженная солнечная радиация в видимой области спектра (0,55—0,75 μ), 4) интегральная отраженная солнечная радиация (0,2—6 μ), 5) интегральное тепловое излучение Земли (8—30 μ). Целью рассматриваемого исследования была разработка методики интерпретации результатов измерений интегрального теплового излучения, для чего в первую очередь были рассчитаны поправки, позволяющие учитывать селективность светофильтра, использованного для выделения интегрального теплового излучения.

Показано при этом, что между непосредственно измеряемой величиной и интегральным тепловым излучением имеет место линейная зависимость, которая в первом приближении одинакова для любых углов по отношению к надиру. В докладе обсуждена также возможность определения температуры земной поверхности или облаков по данным измерений теплового излучения в окне прозрачности. Найдено, что при условии введения поправок для исключения влияния излучения атмосферного озона и водяного пара температура земной поверхности или облаков может быть определена с ошибкой не более 2°. В качестве иллюстрации результатов измерений приведены карты географического распределения потоков теплового излучения. Последние найдены в предположении изотропности поля излучения.

В докладе У. Р. Б а н д и н а и Р. А. Х а п е л а (США) «Некоторые результаты измерений радиации на спутнике Тайрос II» описаны приборы, использованные для измерений радиации, а также приведены некоторые результаты измерений. Для измерения суммарной коротковолновой и длинноволновой радиаций, а также отдельного определения обеих компонент радиационного баланса в широком телесном угле (вырезающем на земной поверхности площадку порядка 500×500 км) использовались радиометры в виде широкоугольного конуса с зеркально отражающими стенками, на дне которого расположен термистор, покрытый черной (для радиации всех длин волн) или белой (для коротковолновой радиации) краской. Наличие у радиометра зеркальных стенок повышало чувствительность прибора, но сильно затрудняло интерпретацию

результатов. Поэтому данные измерений с помощью широкоугольного радиометра в докладе не приведены. Измерения радиации в пределах малого телесного угла осуществлены с помощью упомянутого выше пятиканального радиометра, входные отверстия которого установлены под углом 45° к направлению оси вращения спутника. Наличие вращения спутника позволяет осуществлять сканирование поверхности Земли. Модулятор радиометра поперечно направляет в приемник (полупроводниковый болометр) поступающее через фокусирующую систему излучение от Земли и космоса. Это дает возможность измерять абсолютную величину потока радиации в пределах угла зрения прибора. Оптика фокусирующей системы и светофильтры подобраны для выделения указанных выше пяти участков спектра. Контроль чувствительности радиометра на борту спутника не осуществлялся, так как был применен термокомпенсированный болометр. В качестве иллюстрации результатов наблюдений приведены карты географического распределения потоков радиации для четырех областей спектра (исключая промежутки $0,55-0,75 \mu$), охватывающие Северную Африку, Испанию, часть Средиземного моря и обширную акваторию Атлантического океана. Эти измерения производились около полудня по гринвичскому времени 29 ноября 1960 г. Карты потоков радиации сопоставлены с одновременными фотографиями распределения облачности, полученными с помощью узкоугольной телевизионной камеры (широкоугольная камера не давала удовлетворительных изображений). Во всех случаях наблюдается большая пестрота полей радиационных потоков (особенно в случае интегральной коротковолновой радиации и интервала $6-6,5 \mu$). Обращает на себя внимание подобие полей интегрального теплового излучения и радиации в области окна прозрачности. Несколько неожиданно отсутствие резкого контраста в поле радиации на границе раздела африканского континента и Атлантического океана (это относится даже к интервалу $8-12 \mu$). В некоторых случаях удается связать аномалии поля теплового излучения с особенностями распределения облачности.

Д. Т. Х о т о н и Л. С м и т (Англия) обосновали в докладе «Интерферометрические измерения излучения углекислого газа со спутников» целесообразность использования интерферометрической методики для измерения уходящей радиации в области 15μ полосы поглощения углекислого газа для решения задачи радиационно-термического зондирования атмосферы.

К. Л. К о у л с о н (США) в докладе «Определение высоты верхней границы облаков по данным измерений со спутников» показал, что имеет место заметная зависимость между интенсивностью рассеянной в мировое пространство коротковолновой радиации и положением верхней границы облаков, если считать последнюю непрозрачной и диффузно отражающей, а рассеяние радиации в надоблачном слое атмосферы — рэлеевским. Для определения высоты верхней границы облачности необходимо разделить вклады в уходящую радиацию рассеяния надоблачным слоем и отражения от поверхности облака, поскольку только первое существенно зависит от высоты облака, так как определяется массой надоблачного слоя воздуха. Это негрудно сделать, учитывая, что рассеяние радиации надоблачным слоем селективно, тогда как отражение радиации облаками можно приближенно считать нейтральным. Уходящая радиация в близкой инфракрасной области спектра определяется только альбедо облака и практически не зависит от положения его верхней границы. Напротив, ультрафиолетовая уходящая радиация очень чувствительна к толщине надоблачного слоя. Поэтому отношение интенсивности уходящей радиации в близкой инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра оказывается хорошим индикатором высоты верхней границы облака. Докладчик отметил, что его рассмотрение является только предварительным, поскольку не учитывает таких важных факторов, как аэрозольное рассеяние, горизонтальная оптическая неоднородность и сферичность реальной атмосферы, а также неизотропность и селективность рассеяния радиации реальными облаками.

К. Я. К о п д р а т ь е в (СССР) в докладе «Некоторые проблемы актинометрии в свободной атмосфере» сделал обзор результатов самолетных и аэростатных исследований вертикального профиля составляющих радиационного баланса, выполненных за последнее десятилетие в СССР. В этой связи был подробно охарактеризован комплекс автоматической аппаратуры, используемой группой сотрудников кафедры физики атмосферы Ленинградского университета для осуществления аэростатных измерений вертикального профиля радиационного баланса в всех его составляющих в тропосфере и стратосфере. Предварительные результаты измерений проиллюстрированы данными подъема аппаратуры в дневное время. В докладе обсуждены также задачи, требующие спектральных измерений радиации в свободной атмосфере, в особенности «обратные» задачи, сводящиеся к определению состава и строения атмосферы по данным измерений радиации в различных областях спектра.

В докладе Д. Г. М э р к р и (США) «Измерения радиации с аэростатов» описана аппаратура, предназначенная для аэростатных измерений углового распределения интенсивности уходящей радиации системы «земная поверхность — атмосфера» в различных областях спектра (сканирующий полупроводниковый болометр с набором светофильтров). Приведены результаты измерений (в виде карт изолиний интенсивности радиации), полученные в полете 8 мая 1959 г. на высоте около 26 км. Полученные

карты позволяют судить о неоднородности углового распределения интенсивности уходящей радиации (в частности, эффекте «потемнения» на краю диска планеты) в различных областях спектра (исследовались главным образом различные спектральные интервалы в инфракрасной области спектра).

Л. Р. Мегилл, Л. С. Дрис и Д. М. Гейтс (США) в докладе «Аэростатные спектральные измерения в далекой инфракрасной области спектра для определения содержания водяного пара» описали аппаратуру для измерения спектрального распределения солнечной радиации в интервале 25—38 μ , включающую спектрометр высокой разрешающей силы (эшелетт $10,5 \times 13$ см с 250 *штрих/см*; практически достижимое разрешение около $1,5$ см⁻¹), вакуумную термопару с окном из алмаза, усилительную систему, самописец и следящую систему для наводки на Солнце. Аппаратура предназначена для определения малых содержаний водяного пара в стратосфере. Результаты измерений не приведены, так как первые два полета были неудачными из-за неисправности следящей системы.

Резюмируя данную выше краткую характеристику докладов на симпозиуме по радиации, можно сделать вывод, что материалы симпозиума содержат много новых интересных результатов по ряду наиболее актуальных проблем актинометрии и атмосферной оптики. Особое удовлетворение вызывает впервые проведенное специальное обсуждение нескольких «смежных» проблем при участии представителей различных разделов физики, физики атмосферы и астрофизики.

По окончании научной части симпозиума состоялось заседание Комиссии по радиации, в котором приняли участие советские представители М. И. Будько и К. Я. Кондратьев. Комиссия обсудила большое число организационных вопросов: международные сравнения балансомеров и актинометрических радиозондов, терминологию, публикацию данных МГГ и МГС, издание *Анналов МГГ* и др. Было решено провести в период очередной XIII Ассамблеи МГГС (Сан-Франциско, август 1963 г.) симпозиум на тему «Исследования радиации в верхних слоях атмосферы». Комиссия высказала пожелание провести следующий симпозиум по радиации в Ленинграде или Бергене.

В последний день пребывания в Вене группа советских участников симпозиума посетила Центральную метеорологическую службу Австрии и познакомилась с ведущимися там исследованиями по актинометрии и атмосферной оптике. В настоящее время здесь осуществляется полный комплекс стандартных актинометрических измерений (включая освещенность) и ведутся интересные работы по спектральной актинометрии (особый интерес представляют измерения альbedo естественных подстилающих поверхностей в близкой инфракрасной области спектра).

Австрийские коллеги (проф. Ф. Штейнхаузер, проф. Ф. Лаушер, доц. И. Уптерштейнер и др.) приложили большие усилия, чтобы организационная сторона симпозиума была безупречной. Это позволило участникам симпозиума работать в весьма благоприятных условиях. Общая атмосфера симпозиума была деловой и дружественной.

К. Я. Кондратьев