Семинар Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН (ИГКЭ)
23 апреля 2018 года

SUMMARY
(составлено Л.В. Кудрявцевой, ИГКЭ)

Состоялся доклад к.ф.-м.н. ЧАЯНОВОЙ Элеоноры Александровны (ЦАО, Росгидромет) «**Определение аэрозольных и газовых компонент атмосферы при затменном методе наблюдения спектрометром, установленном на космическом аппарате. Часть 1.»**
С развернутым комментарием выступил к.ф.-м.н. СЕВЕРОВ Дмитрий Арсеньевич (ИГКЭ).

Председательствовал д.ф.-м.н. СЕМЕНОВ Сергей Михайлович (ИГКЭ).

Семенов С. М. (председательствующий): Добрый день! Элеонора Александровна расскажет сегодня о первой части некоторой большой задачи - определения аэрозольных и газовых компонент в атмосфере Земли с использованием спектрофотометра затменным методом. Это означает следующее. Если летает спутник, и на нем стоит прибор-«окуляр», а из-за горизонта «появляется» Солнце, то можно воспользоваться его прямыми лучами и смотреть, чем отличается спектр излучения, принятого прибором, от спектра излучения Солнца (он известен). В зависимости от того, какие длины волн при этом «теряются» или насколько излучение на этих длинах волн ослабляется, можно определить, какие вещества и в каком количестве встретились на пути луча. Современные спутниковые измерения позволяют получать непрерывные образы соответствующих распределений. Дмитрий Арсеньевич прокомментирует это выступление.

Чаянова Э.А. ДОКЛАД (расширенные тезисы прилагаются).

Семенов С.М. (председательствующий). Спасибо, Элеонора Александровна. Теперь, вопросы, пожалуйста.

Гинзбург В. А. (ИГКЭ): *Уточните, пожалуйста, на последнем слайде у Вас подписано по оси X – прицельная высота, а Вы говорите об абсолютной высоте?*

Чаянова Э.А.: Для космического аппарата абсолютная высота (или высота над поверхностью Земли) отсчитывается по прямой, соединяющей его с центром Земли. Это - расстояние от пересечения этой прямой с земной поверхностью до космического аппарата.

Прицельная высота – расстояние от точки поверхности Земли до прямой, соединяющей космический аппарат с Солнцем, измеряемое по перпендикуляру, опущенному из центра Земли на эту прямую.

«Сферический слой» атмосферы – та ее часть, что находится между концентрическими сферами с центром в центре Земли.

Абсолютная высота (или высота над поверхностью Земли) *какого-либо сферического слоя атмосферы* отсчитывается по лучу, исходящему из центра Земли. Это – расстояние от точки пересечения луча с земной поверхностью до середины отрезка, соединяющего пересечения луча с граничными сферами слоя.

Свет на какой-либо прицельной высоте проходит через слои атмосферы, расположенные на разных абсолютных высотах, и его путь определяется "треугольной матрицей длин путей", которая рассчитывается из геометрических условий эксперимента с учетом рефракции.

На последнем слайде действительно показана функция пропускания атмосферы в зависимости от «прицельной» высоты, то есть сразу результат измерения, без обработки и пересчета на абсолютные высоты слоев.

Северов Д.А. (ИГКЭ): *Как учитывается рассеяние - суммарное молекулярное и аэрозольное? Ведь прибор, установленный на спутнике, принимает и рассеянную часть потока. Это не приводит к завышению пропускания?*

Чаянова Э.А.: Поток прямого излучения ослабляется за счет рассеяния и поглощения. Прибор, установленный на спутнике, принимает только поток прямого солнечного излучения из-за очень маленькой апертуры приемной оптики. Рассеянная часть потока не регистрируется.

Семенов С.М.: *То есть термин «ослабление» относится только к потоку прямого излучения? Рассеянное как-то учитывается?*

Чаянова Э.А.: Да, термин «ослабление» относится только к потоку прямого излучения. Рассеянное излучение не учитывается. Метод не дает возможности его зарегистрировать.

Северов Д.А.: *Вы условно выделили в пространстве 7 слоев. Сколько измерений приходится на то время, за которое отрезок прямой, соединяющий Солнце и спутник, «проходит» 1 слой?*

Чаянова Э.А.: Семь слоев – это только на иллюстративной картинке, а реальное число слоев зависит от разрешающей способности прибора по высоте. Спектрометр SAGE-III имел разрешение по высоте 0.5 км, и в обработке результатов измерений, мы условную атмосферу высотой 100 км разбивали соответственно на 200 слоев, я уже говорила об этом. Я плохо понимаю Ваш во-

прос, «что такое время прохождения 1 слоя»? У нас 28 событий за сутки, 14 восходов и 14 закатов. Прибор делает 250 сканов за 1 событие (от восхода до заката). Отсюда можно сосчитать, время которое Вас интересует.

Северов Д.А.: *Чем объясняется большой разброс значений оптической толщины на рис. 14?*

Чаянова Э.А.: Как видно из рисунка разброс значений оптической толщины возникает на высотах 50-60 км – это предел динамического диапазона регистрирующей системы. Так что это статистические шумы регистрирующей системы.

Канцырев Б.Л. (ИО РАН): *Имеется еще поглощение за счет запыленности атмосферы. А как оценивается не-рэлеевское рассеяние?*

Чаянова Э.А.: Мы воспользовались предварительными измерениями аэрозольных частиц в эксперименте на SAGE – II.

Канцырев Б. Л. (ИО РАН): *Все же, к чему ведет наличие пыли? К разогреву атмосферы или к охлаждению за счет увеличения альбедо?*

Чаянова Э.А.: Известный климатолог-теоретик Хансен пытался определить изменение температуры при введении искусственного аэрозоля. В одних случаях это приводит к повышению температуры в приземном слое и понижению в аэрозольном слое, в других − наоборот. Все зависит от конкретных термодинамических параметров.

Николаев А.Н. (ИГКЭ)*: Как оценивать погрешность расчетов ослабления излучения при решении прямой задачи? Как учитывать нестабильность аэрозолей на разных высотах и широтах?*

Чаянова Э.А.: При решении «прямой задачи» Вы сами задаёте параметры атмосферы. Тогда, с чем Вы хотите сравнивать? С конкретными измерениями? Но если параметры реальной атмосферы не совпадают с вашими заданными параметрами, тогда надо учитывать поправки, и все совпадет.

Трифонова-Яковлева А.М. (Институт географии РАН): *Затменный метод пригоден для измерений состава атмосферы лишь в высоких слоях?*

Чаянова Э.А.: Да, практически выше 10 км. В тропосфере измерениям препятствуют облака, но если безоблачная атмосфера, то можно проводить измерения и ниже, вплоть до 0.5 - 1км.

Трифонова А.М. (ИГ РАН): *Что лучше затменный метод или лимбовый?*

Чаянова Э.А.: Затменный метод – это метод, свободный от ошибок оптической и регистрирующей систем. SAGE–III мог измерять не только по прямому солнечному излучению, но мог быть перестроен на работу с излучением Луны или какой-то звезды, и даже на работу по лимбовому методу. Но, как я уже говорила, лимбовый метод тяжел в интерпретации результатов– это метод будущего.

Николаев А.Н. (ИГКЭ): *Как серьезно делался учет рефракции?*

Чаянова Э.А.: Очень серьезно, А.И. Ивановский занимался этим, нам помогали в этом французы, Дидье, например. Кроме программного обеспечения - его нам не предоставляли.

Егоров В.И. (ИГКЭ): *В рамках SAGE – III проводились измерения двуокиси углерода и метана?*

Чаянова Э.А.: SAGE – III это не измерял, не обрабатывал.

Седякин В.П. (ИГКЭ): *В каком виде существует программное обеспечение для обработки данных, поступающих на Землю при таких измерениях?*

Чаянова Э.А.: Существует 4 уровня обработки. 0-3-й уровни – это технические данные платформы, приборов и т.д., в том числе и научная информация. Этот пакет информации сбрасывался со спутника, НПО «Планета» принимала. Программы для этого уровня обработки американцы нам предоставили, нужно было в них разобраться и адаптировать к нашим компьютерам. Отделить научную информацию от технической. Мы работали с 4-м уровнем, получали функцию пропускания и, решая обратную задачу, получали высотные профили поглощающих газов и аэрозолей.

Гинзбург В.А. (ИГКЭ, ИГ РАН): *Расскажите, пожалуйста, о программном обеспечении.*

Чаянова Э.А.: Я работала на MATLAB. Все отдельные блоки программ, представленные на рис. 13, отрабатывались на языке МАТЛАБ, но у MATLAB мала оперативная память, поэтому далее алгоритмы передавались программистам, работающим на СИ ++.

Семенов С.М.: *У Вас есть специальный Soft для прямой задачи, что он принимал на вход?*

Чаянова Э.А.: В нем содержатся база данных, банк термодинамических характеристик атмосферы для всего Земного шара, база спектроскопических данных, характеристики приборов и т.д.

Воробьев В.А. (ИГКЭ): *Как учитываются стратосферные облака?*

Чаянова Э.А.: Лишь при решении обратной задачи можно учесть стратосферные облака.

Семенов С.М.: *Часть энергии может рассеяться на облаках?*

Чаянова Э.А.: Облака не пропускают прямого излучения. Излучение, прошедшее облако, уже не прямое, только рассеянное.

Семенов С.М.: Когда *Вы применяли аппроксимирующую формулу, как считали рассеяние на аэрозолях? По Ми?*

Чаянова Э.А.: В прямой задаче рассеяние на аэрозолях включалось по результатам измерений на SAGE – II. Аппроксимирующие формулы применялись для учета рэлеевского рассеяния и разница с точными формулами Рэлея составляла порядка 2 десятых процента.

Семенов С.М.: *Вопрос о будущем Вашем докладе: при восстановлении поля по результатам измерений сферичность предполагается?*

Чаянова Э.А.: Да, для первой итерации. Далее широтная и высотная зависимости.

Гинзбург В.А. (ИГКЭ, ИГ РАН): *У Вас на слайде приведены функции пропускания для Москвы и для тропиков, значит можно определить привязку к конкретной географической точке?*

Чаянова Э.А.: Да, по подспутниковым точкам определяется широта и долгота.

Северов Д.А. ВЫСТУПЛЕНИЕ С РАЗВЕРНУТЫМ КОММЕНТАРИЕМ (прилагается).

Семенов С.М. Спасибо, Дмитрий Арсеньевич. Есть желающие выступить? Может быть, есть еще вопросы?

Громов С.А. (ИГКЭ, ИГ РАН): *Насколько такие способы измерения оперативны и могут быть использованы в мониторинге? И я не совсем понял по пространственному разрешению.*

Чаянова Э.А.: Если большие компьютерные мощности и хорошее программное обеспечение, то в режиме реального времени. Пространственные результаты, конечно, осредненные.

Громов С.А. (ИГКЭ, ИГ РАН): *По ячейкам 100 х100 км? По иным?*

Чаянова Э.А.: Измеренные функции пропускания определены для конкретных координат подспутниковой точки и для конкретного значения мирового времени. Все эти функции пропускания обрабатываются для получения вертикальных профилей газовых и аэрозольных составляющих. Их Вы можете усреднять как хотите - по ячейкам 100х100 км или 40х40 км. В какой мере будет хватать данных для пространственного осреднения. Это касается и временного осреднения. Американцы выкладывали данные по SAGE-II, например, осредненные за месяц по времени и через 5 градусов по широте.

Семенов С.М.: *Насколько следующая точка в пространстве, в которой проведено измерение, сдвинута относительно предыдущей?*

Чаянова Э.А.: Сейчас не могу сказать, Это можно посчитать, зная скорость вращения Земли, координаты космического аппарата и орбиты, а также число событий (восходов и заходов в сутки) и скорость сканирования солнечного диска входной оптической системой спектрометра SAGE-III.

Громов С.А. (ИГКЭ, ИГ РАН)**:** *В интернете выкладываются данные с шагом 40х40 км.*

Чаянова Э.А.: Это обработанные аналитические данные, а не результаты измерений.

Кудрявцева Л.В. (ИГКЭ): *В интернете выложены только среднемесячные данные?*

Чаянова Э.А.: Да.

Гинзбург В.А. (ИГКЭ, ИГ РАН): *Обработку спектров можно вести в автоматическом режиме или нужна «ручная» работа на каком-то этапе*?

Чаянова Э.А.: Конечно, только автоматически. Никакая «ручная» работа не предусматривается. Американцы это сделали.

Семенов С.М. (председательствующий): Очень интересное выступление. Мы не все поняли, но кое-что прояснилось. Поблагодарим Элеонору Александровну и Дмитрия Арсеньевича. В следующий раз нам расскажут об обратной задаче.