

количество не работающих приемников в отдельные моменты времени может достигать величины 30%, что совершенно недопустимо для стабильной работы GPS. Общее количество станций GPS, для которых имеет место срыв сопровождения фазы при распространении радиосигнала вдоль магнитной силовой линии, может достигать величины в 7-8 %. При использовании GPS этот факт необходимо учитывать. Необходимо, чтобы каждый приемник при выборе спутников для определения своего местоположения учитывал возможные сбои, которые могут возникнуть для спутников с «неблагоприятным» положением в пространстве относительно магнитного поля.

Результаты наших исследований нужно учитывать при моделировании трансионосферного распространения радиоволн и при составлении карт ионосферных неоднородностей.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Фундаментальной исследовательской программы физического отделения РАН (Проект IV.12 «Современные проблемы радиофизики»).

Литература

1. Skone, S.H. The impact of magnetic storms on GPS receiver performance // *Geodesy* 75(9-10), doi:10.1007/ S001900100198, 2001, 457-468.
2. Conker, R.S., El-Arini, M.B., Hegarty, C.J., Hsiao, T. Modeling the effects of ionospheric scintillation on GPS/satellite-based augmentation system availability // *Radio Set.*, doi:10.1029/2000RS002604, 2003, 38 (1), 1001.
3. Ledvina, B.M., Makela, J.J., Kintner, P.M. First observations of intense GPS L1 amplitude scintillations at midlatitude // *Geophys. Res. Lett.*, 10.1029/2002GL014770, 2002, 29 (14)
4. Ledvina, B.M., Kintner, P.M., Makela, J.J. Temporal properties of intense GPS L1 amplitude scintillations at midlatitudes // *Radio Sci.*, RS1S18, doi:10.1029/2002RS002832, 2004, 39.
5. Ledvina, B.M., Makela, J.J. First observations of SBAS/ WAAS scintillations: Using colocated scintillation measurements and all-sky images to study equatorial plasma bubbles // *Geophys. Res. Lett.*, L14101, doi:10.1029/2004GL021954, 2005, 32.
6. Afraimovich, E.L., Lesyuta, O.S., Ushakov, I.I., Voeykov, S.V. Geomagnetic storms and the occurrence of phase slips in the reception of GPS signals // *Annals of Geophys.*, 2002, 45 (1), 55-71.
7. Afraimovich, E.L., Demyanov, V.V., Kondakova, T.N. Degradation of performance of the navigation GPS system in geomagnetically disturbed conditions // *GPS Solut.*, 2003, 7 (2), 109-119.
8. Afraimovich, E.L., Astafieva, E.I., Demyanov, V.V., Gamayunov, I.F. Mid-Latitude Amplitude Scintillation of GPS Signals and GPS Performance Slips // *Adv. Space Res.*, 2009, 43, 964-972.
9. Astafyeva, E.I., Afraimovich, E.L., Voeykov, S.V. Generation of secondary waves due to intensive large-scale AGW traveling // *Adv. Space Res.*, 2008, 41, 1459-1462.
10. Ma, G., Maruyama, T. A super bubble detected by dense GPS network at east Asian longitudes // *Geophys. Res. Lett.* L21103, doi: 10.1029/2006GL027512, 2006, 33.

ЛИДАРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СЛОЕВ В СТРАТОСФЕРЕ НАД ТОМСКОМ В 2008-2010 LIDAR OBSERVATIONS AEROSOL VOLCANIC LAYERS IN STRATOSPHERE ABOVE TOMSK IN 2008-2010

В.Н. Маричев¹, И.В. Самохвалов²

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск
Томский Государственный Университет

Прежде чем перейти к анализу наблюдений, поясним, что при лидарных измерениях в качестве параметра, описывающего вертикальную стратификацию аэрозоля, представлена оптическая характеристика $R(H)$ – отношение аэрозольного рассеяния (H – текущая высота). По определению $R(H)$ – отношение суммы коэффициентов аэрозольного и молекулярного коэффициентов обратного рассеяния к молекулярному коэффициенту обратного рассеяния. Для примера, выполнение условий $R(H)=1$ означает отсутствие на данных высотах аэрозоля, и, наоборот, там, где $R(H) \geq 1$, появляется аэрозоль. По значению $R(H)$ определяется вклад аэрозольного рассеяния в общее, и, косвенным путем, оценивается величина аэрозольной компоненты. Приводимые ниже графики профилей $R(H)$ рассчитаны как по суммарному за ночь

сигналу (время накопления более 2 час), так и по сериям 10-мин измерений с указанием среднеквадратичного отклонения. Пространственное разрешение составляло 150 – 300м.

Первое появление аэрозольного слоя над Томском за указанный период наблюдений было обнаружено 9 августа 2008г. (рис.1).

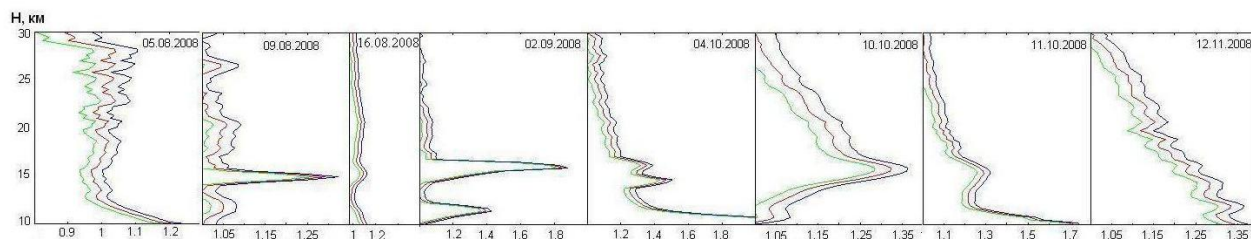


Рис.1. Результаты наблюдений прохождения эруптивных облаков от вулканов Окмок и Касаточи над Томском (2008г).

Это был четко выраженный слой с отношением рассеяния $R=1.3$, расположенный на высоте 15км. Предшествующее ему фоновое состояние аэрозольной структуры в нижней стратосфере приведено на левом графике рис.1. Слой регистрировался 15-16 августа с заметно меньшим значением $R=1.1$. 2-го сентября произошло перераспределение структуры вулканического аэрозоля в двухслойную с заметным возрастанием интенсивности верхнего слоя до $R=1.9$ и его вертикальным сдвигом на высоту $H=16$ км и появлением второго слоя с $R=1.4$ на $H=11.5$ км. Двухслойная структура слоя наблюдалась и 4-го октября, но со значительным ослаблением плотности верхнего слоя и поднятием нижнего до высоты 15км. Далее в октябре произошла трансформация распределения аэрозоля и появился один слой с максимальным значением R на высоте 15км. Этот слой выделялся на фоне аэрозольного наполнения нижней стратосферы за счет усиления тропосферно-стратосферного обмена, характерного для региона Западной Сибири осеннего, весеннего и особенно зимнего периодов. Следы слоя наблюдались 11, 22 и 23 октября. В ноябре слой исчез. Кроме отмеченных на рис. 1 дат измерений, зондирование также проводилось 22, 23, 24, 31 августа и 25 октября. В эти ночи присутствия аэрозольных вулканических слоев замечено не было. Данный факт говорит о разрывности глобального вулканического слоя, по крайней мере над Западной Сибирью.

Для выявления географии расположения источника происхождения наблюдаемых над Томском аэрозольных слоев мы пытались отследить траектории как прямых, так и обратных воздушных трасс, воспользовавшись NOAA HYSPLIT MODEL. К сожалению, попытки связать конкретные даты наблюдений вулканических слоев с переносом продуктов извержений Окмок и Касаточи оказались безуспешными. Тогда для расчета траекторий переноса воздушных масс был использован пакет программ, разработанный Черемисиным А.А.. Как показали результаты расчета, слои 9 и 15 августа 2008г. на высоте 15км образовались от вулкана Окмок. Облако аэрозоля от вулкана Касаточи могли достигнуть Томск только после 28 августа 2008г. Такие облачные образования наблюдались 2 сентября и 4 октября. Слои за вторую и третью декаду октября, вероятнее всего, следует отнести к совместному вкладу извержений обоих вулканов.

Из наблюдений 2009г., как особо интересное событие, следует выделить появление в нижней стратосфере двух аэрозольных слоев, зарегистрированных на высотах 10.6 км ($R=3$) и 11.7 км ($R=1.4$) 3 июля (рис.2).

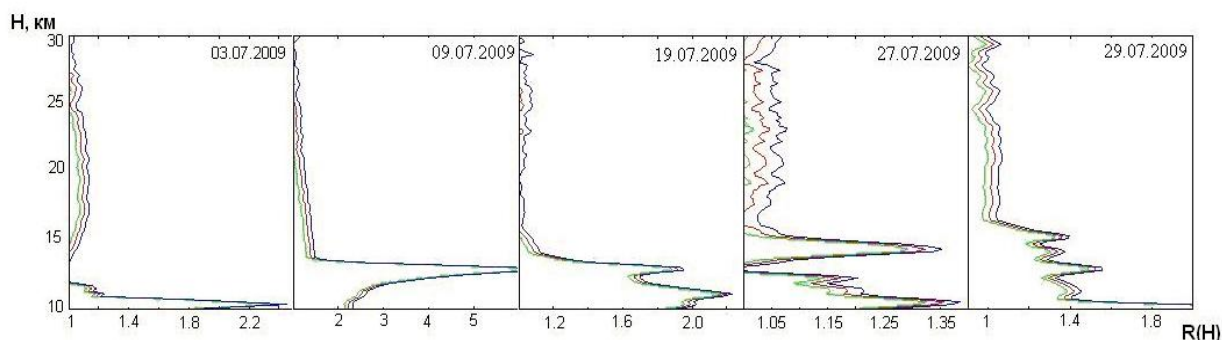


Рис.2. Первые наблюдения аэрольных слоев вулкана пик Сарычева (2009г)

То, что эти слои явно не относятся к облакам верхнего яруса – циррусам, свидетельствует тот факт, что они расположены выше среднего уровня тропопаузы 10км. Последний определялся

по данным аэрологического зондирования двух ближайших к Томску метеостанций Новосибирска и Колпашева (сайт University of Wyoming, Department of Atmospheric Science), удаленных к юго-западу и северо-западу на расстояния 210 и 230км, соответственно. Произошло это событие после длительного спокойного периода, включающего позднюю осень 2008г. – начало лета 2009г., и было вызвано началом извержения вулкана пик Сарычева, расположенного на Курильской островной гряде.

Особенностью извержения вулкана пик Сарычева являлось не единичный залповый выброс пепла и газа, а серия 11 гигантских взрывов, происходивших в течение 7 дней. В некоторых выбросах пепловые столбы поднимались до высоты 13 и 16км. (<http://www.volcano.si.edu/>) Как выяснилось далее, отмеченная особенность отразилась на формировании вулканического стратосферного облака.

Как видно из сравнения высотного хода $R(H)$ на рис.2, после 5-8 июля произошли серьезные изменения в вертикальной структуре вулканического облака: это нарастание мощности, образование многослойной структуры с пиками отношения рассеяния на высотах выше уровня тропопаузы около 12,1 12.7 и 14.2км. Величина R убывала с высотой примерно от значений 2.3 до 1.2. 9-го июля слоистая структура трансформируется в один мощный слой с $R=6$, расположенный на высоте 13км. В последующих наблюдениях с 19-го июля и до конца месяца происходит возврат к слоистым образованиям от 2-х до 4-и слоев с заметным аэрозольным наполнением нижней стратосферы до 17км.

На следующем рис. 3 приведена динамика прохождения вулканического облака над Томском 6 июля 2009г, представленная по 10-мин. накопительным интервалам.

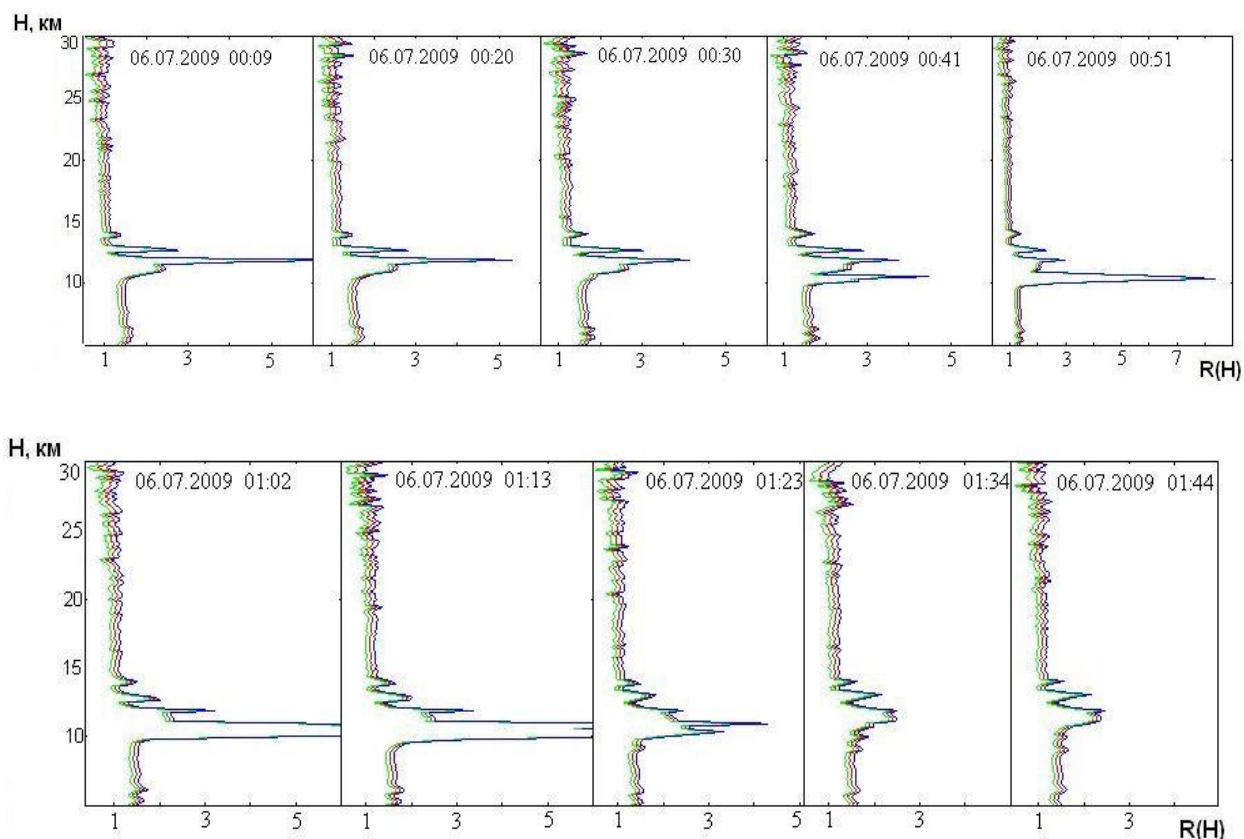


Рис.3. Динамика прохождения вулканического облака над Томском в ночь 6 июля 2009г.

Видна сильная изменчивость в вертикальной структуре облака. Так, за относительно небольшой промежуток наблюдений - 1.5 часа количество слоев могло меняться от трех до пяти, на высотах более 10км. В середине серии наблюдений появлялся и исчезал динамичный аэрозольный слой, величина отношения рассеяния в котором превышали $R=10$. Подобная динамика наблюдалась и в других экспериментах. Так, при зондировании в ночь 19 июля (см. рис.4) отслеживалась слоистая протяженная структура в диапазоне высот от 7 до 15км с

изменяющимися по интенсивности пиками R . При этом минимальные значения R превышают единицу, что свидетельствует о неразрывности всего слоя по высоте.

Из результатов наблюдений, выполненных в августе и сентябре, следует, что вулканический слой над Томском присутствовал постоянно (рис.4,5). Он несколько мог изменяться как по структуре, так и по интенсивности. В августе этот слой имел некоторую нижнюю полочку на высоте 10км. и мог простирается до высот 17км.

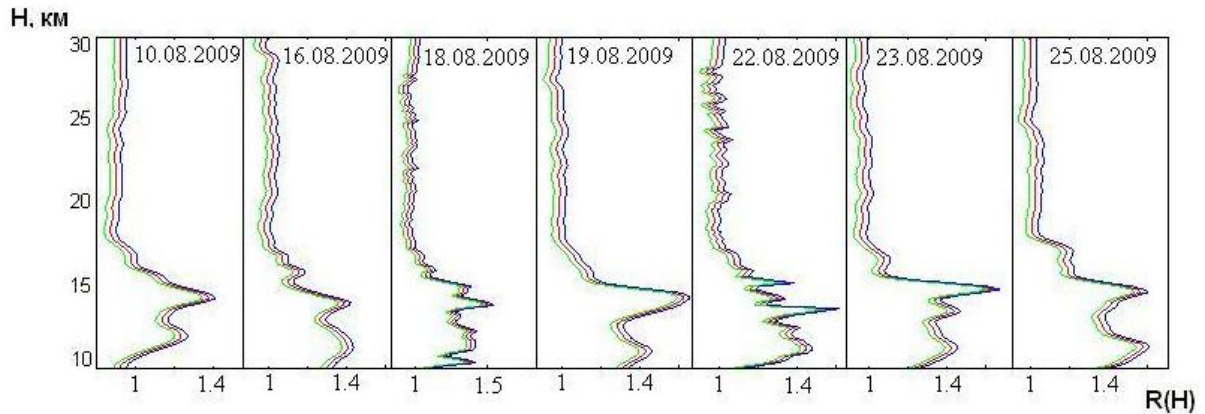


Рис.4. . Наблюдения за вулканическим слоем в отдельные ночи августа 2009г.

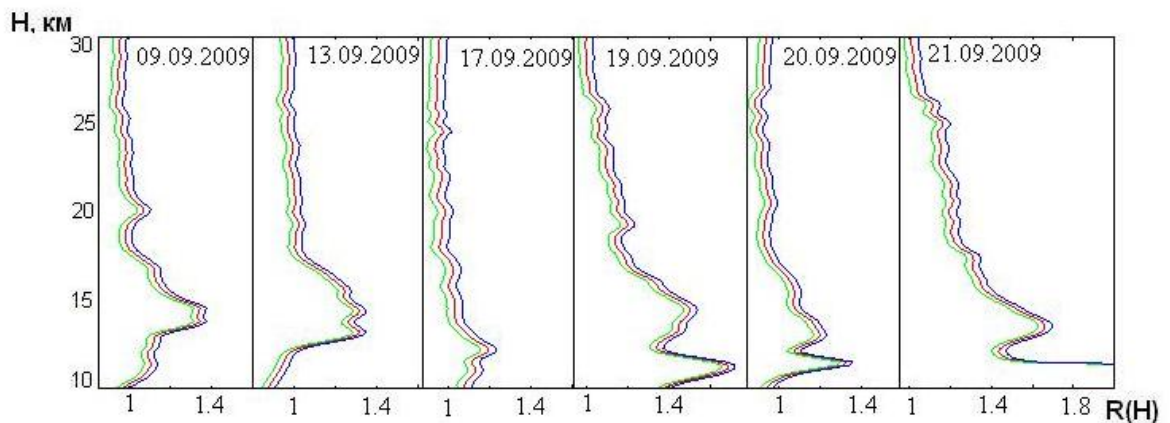
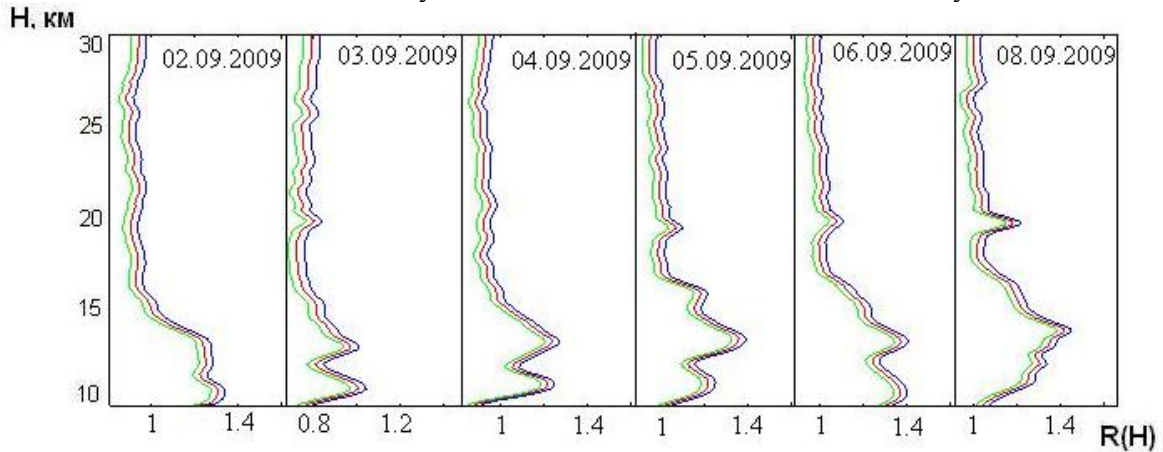


Рис.5. Наблюдения за вулканическим слоем в отдельные ночи сентября 2009г.

Структура слоя в большинстве случаев слоистая, интенсивность невысокая – максимальное значение отношения рассеяния R не превышало $R=2$ (измерения за 22 августа). В сентябре слоистая стратификация слоя продолжала сохраняться, а мощность убывать. 9-го сентября (рис.5) на высоте 20 км возник слабый, но достаточно заметный, тонкий слой, который несколько раз отмечался в течение последующей недели.

Дальнейшие наблюдения, выполненные в октябре (рис.6), показали размывание слоистой аэрозольной структуры. Вместе с тем постоянно отмечалось монотонно убывающее наполнение

нижней стратосфере аэрозолем, но уже с продлением до высот 30км., подобно сравнительно недавним наблюдениям, выполненным в.

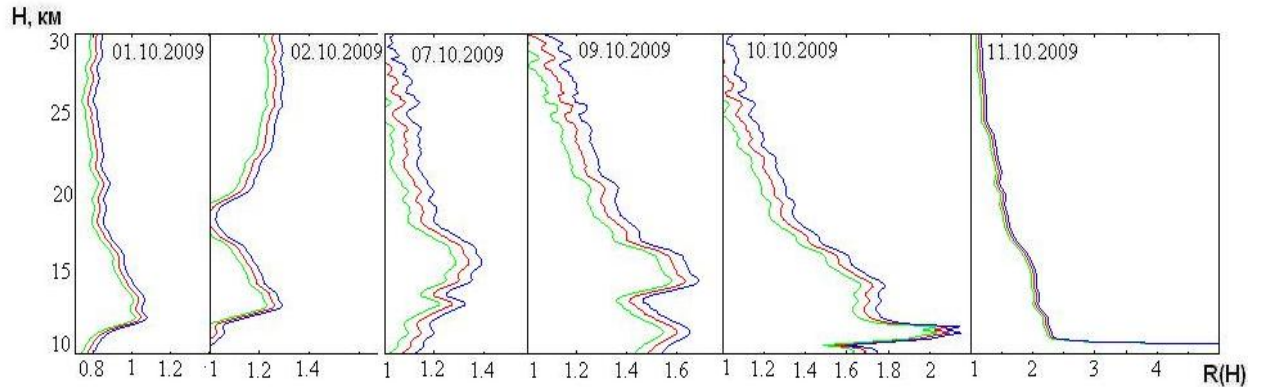


Рис.6. Наблюдения за вулканическим слоем в отдельные ночи октября 2009г.

Природа происхождения этого аэрозоля, вероятнее всего, не может быть связана с вулканическими выбросами. Как видно из рис.6, интенсивность вулканического аэрозольного слоя в сентябре значительно пошла на спад. Аэрозольное наполнение нижней стратосферы, скорее всего, должно быть связано с выносом аэрозоля из тропосферы в стратосферу за счет усиления тропосферно-стратосферного обмена. Аналогичные региональные особенности формирования вертикальной аэрозольной структуры в нижней стратосфере в осенний и зимний сезоны фиксировались в более ранних долговременных лидарных наблюдениях, начиная с 1986г по 2000гг, в период отсутствия вулканических извержений.

Появление вулканического слоя от извержения вулкана Эйяфьятлайокудль (южная Исландия) демонстрируется рис.7. Несмотря на то, что последствия выброса мощного столпа пепла для Европы были катастрофическими с точки зрения отмены самолетных рейсов на достаточно длительный срок, при переносе над Россией вулканическое облако значительно размылось и над

Томском при наблюдениях за 23, 24 и 27 апреля выглядело в виде тонкого неплотного слоя, локализованного на высоте около 10км.

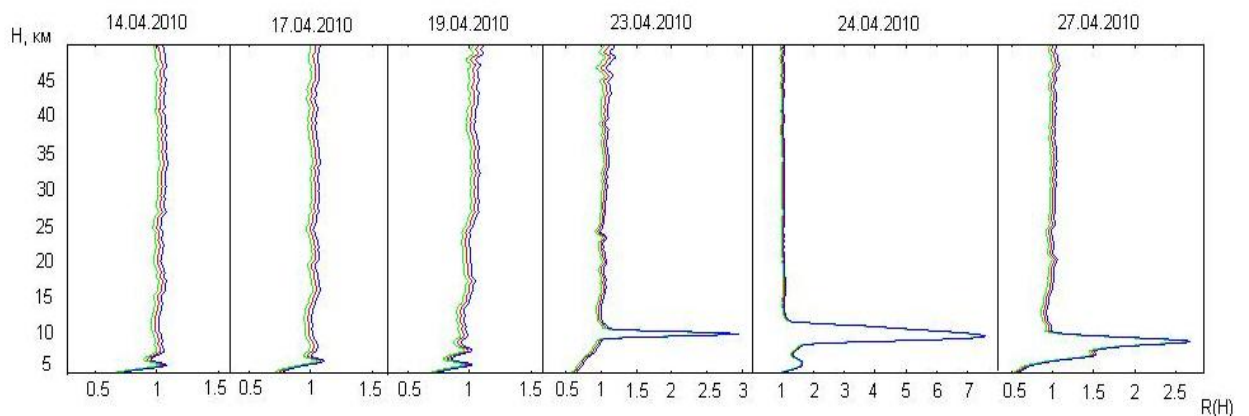


Рис.7. Перенос эруптивного облака от вулкана Эйяфьятлайокудль над Томском во второй половине апреля 2010г.

В целом полученные результаты лидарного мониторинга аэрозоля подтверждают механизм глобального влияния вулканического выброса аэрозоля на атмосферу Земли. Резюме относительно вулкана пик Сарычева. Несмотря на то, что извержение происходило в одной точке Земного шара и далеко не относилось к типу величайших вулканических извержений (Эль-Чичон, Пинатубо), тем не менее выброс аэрозоля в стратосферу покрыл непрерывным слоем большую часть Северного полушария. В этом есть некоторое кратковременное сходство возмущения от извержения вулкана пик Сарычева с извержением вулкана Пинатубо, неразрывный эруптивный слой от которого просуществовал в стратосфере Северного полушария около четырех лет. Наблюдаемые в 2008г. слои аэрозоля от извержений вулканов Окмок и Касаточи, в отличие от вулкана пик Сарычева, имели разрывный характер. Формирование хотя и достаточно кратковременного (более трех месяцев), но неразрывного эруптивного облака от вулкана пик

Сарычева следует связывать с фактом 11-и произошедших мощных взрывов, доставивших большое количество аэрозольно - газовых веществ в стратосферу.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке интеграционного научно-исследовательского проекта СО РАН – ДВО РАН - НАН Украины «Диагностика динамических процессов в среднеширотной и субполярной атмосфере» и гранта РФФИ 10-05-00907-а «Выявление региональных особенностей условий формирования и механизмов образования аэрозольных слоев в стратосфере и мезосфере северного полушария».

ДИНАМИКА ЗИМНИХ СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ НАД ЯКУТСКОМ WINTER STRATOSPHERIC WARMING DYNAMICS ABOVE YAKUTSK

С.В. Николашкин¹, С.В. Титов¹, В.Н. Маричев², В.М. Игнатьев¹

¹Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН,

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

The spatial and temporal characteristics and winter stratospheric temperature wave of variations measured with Lidar near Yakutsk on height interval 20-60 km have been studied. There is a relation between temperature variations with planetary, tidal and gravity during winter stratospheric warmings discussed.

Lidar temperature data co-analysis for period 2004-2009 years with aerologic radiosounding and satellite measuring showed that winter stratospheric warming consist of some short-time localized warmings what modulated by planetary wave with wavenumber 1 or 2 and period of 90 days.

The work is partly supported by RFBR grant 09-05-98573 and Integration Project No 15 SB RAS.

Измерения высотного температурного профиля проводились около Якутска (61,7 с.ш., 129,4 в.д.) с помощью лидара по молекулярному (рэлеевскому) обратному рассеянию зондирующего лазерного импульса ($\lambda 532$ нм) в атмосфере. Наблюдения проводились в темное время суток по 2–3 ночи каждую неделю. За ночь получались до восьми высотных профилей, из которых получался средненочной профиль. Калибровка значений температуры производилась по данным баллонного аэрологического зондирования на метеостанции Якутска. Следует отметить, что калибровка производилась только для нижней границы лидарных температурных профилей из-за низкого потолка полета шаров (20–25 км).

В зимнее время в стратосфере ежегодно происходят внезапные потепления, которые иногда приводят к обращению зонального ветра на восточное направление. Эти явления обусловлены диссипацией всплывающей планетарной волны в средней атмосфере, который приводит к ее разогреву.

На примере 2005-2006 гг. показано развитие потепления над Якутском по данным лидарных измерений и глобальных карт температурного поля по данным NOAA. До 9 ноября 2005 года над Камчаткой располагался очаг потепления, который был связан с уменьшением планетарной волны с волновым числом $n=1$ (т.е. одна волна помещалась на окружности Земли). В начале третьих суток с 10 по 12 ноября 2006 года на уровне 50 мБар проявилось усиление планетарной волны с волновым числом $n=2$. В результате этого холодный полярный циркумполярный циклонический вихрь слегка расщепился на две части, расположенные вдоль 70° в.д. Южная часть холодного циркумполярного вихря располагалась над полуостровом Ямал, а северная часть располагалась над морем Баффина. В центрах расщепленных частей циркумполярного вихря температура составила примерно -80°C. В то же время рядом с двух волновой планетарной волной господствовала планетарная волна с $n=1$, которая над Камчаткой образовала, мощный очаг потепления. При этом область потепления занимала достаточно обширную территорию. Она занимала западную часть Аляски, Чукотку, восточную часть Восточной Сибири от оз. Байкал до Вьетнама, восточную часть Монголии. Очаг потепления был малоподвижным, но он вытягивался в восточном направлении, в результате которого он 06.01.06 достиг Канады и занимал всю ее западную часть. Присутствие ПВ с волновым числом $n=1$ выдавило центр циркумполярного вихря в сторону Норвежского моря, в результате которого центр вихря оказался между о. Гренландия и Скандинавским полуостровом. Такая волновая ситуация сохранилась до середины января 2006 г. (Рис.1.)