

Применение данных OMI/Aura для задач мониторинга извержений вулканов Камчатки

Д.В. Мельников

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пишона, 9
E-mail: dvm@kscnet.ru*

Диоксид серы (SO_2) является одним из основных магматических газов выделяющихся при извержении вулканов. Мониторинг содержания SO_2 в атмосфере позволяет судить об энергии вулканического извержения и его динамике. В настоящее время для задач глобального спутникового мониторинга SO_2 используется инструмент OMI (Ozone Monitoring Instrument) расположенный на борту спутника AURA. В работе приведены результаты ежедневного мониторинга содержания SO_2 для вулканов Камчатки.

Введение

Диоксид серы (SO_2) является одним из основных магматических газов, эманации которого сопровождают вулканические извержение. Кроме того, он может образовываться при сжигании природного топлива на электростанциях и при выплавке металла. Диоксид серы имеет короткий период жизни в воздухе, превращаясь в аэрозоли сульфатов в течение суток близ поверхности Земли и в течении месяца в стратосфере. Мониторинг содержания SO_2 в атмосфере позволяет судить об энергии вулканического извержения в целом и отдельных его этапов. Мощные эмиссии SO_2 могут приводить к возникновению кислотных дождей и климатическим изменениям. Так, например, в результате извержения вулкана Пинатубо на Филиппинах в 1991 г. в атмосферу было выброшено диоксида серы массой 20 млн. тонн, что оказало мощное влияние на состояние озонового слоя.

Глобальный мониторинг концентраций SO_2 осуществляется на основе измерений в ультрафиолетовом диапазоне (UV) приборами, установленными на искусственных спутниках Земли. В настоящее время, для решения данной задачи, на околоземной орбите находится два спутника – SCIAMACHY (на борту спутника ENVISAT) и OMI (на борту спутника AURA). Наиболее предпочтительными являются данные получаемые инструментом OMI (Ozone Monitoring Instrument), который является совместной разработкой Голландского аэрокосмического агентства, Финского метеорологического института и NASA. Этот прибор в 2004 году сменил на околоземной орбите своего предшественника – TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer). OMI обладает более широким спектральным и пространственным разрешением. Он способен осуществлять ежедневный глобальный мониторинг состояния атмосферы в диапазоне 270-500 nm длины волны и спектральным разрешением 0.5 nm с пространственным разрешением 13x24 км/1 пиксель. Частота съёмки – 1 раз в сутки. Алгоритм обработки данных [1, 2] даёт информацию о повышенных концентрациях SO_2 на трёх высотах над уровнем моря: 2 км (антропогенный SO_2), 5 км (пассивная вулканическая дегазация) и 15 км (крупные эксплозивные извержения). Метод основан на измерении спектральных характеристик солнечного света рассеянного в атмосфере и отражённого от поверхности Земли. Сравнение первоначального и отражённого спектра даёт информацию о распределении и концентрации микропримесей озона и диоксид серы, так как эти газы поглощают и рассеивают часть приходящего солнечного света. В качестве единиц измерения концентрации SO_2 используются Единицы Добсона (Dobson Units). Одна Единица Добсона равна 0.01 мм толщины сжатого слоя озона при 0 градусов Цельсия или 2.69×10^{20} молекул озона на квадратный метр. Типичное фоновое значение концентрации SO_2 в атмосфере составляет ≤ 1 Единицы Добсона. Исходные данные OMI SO_2 в формате HDF можно получить на официальном сайте NASA (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/Aura/>).

Использование данных OMI SO₂ для изучения извержений вулканов Камчатки

Ежегодно от различных источников в атмосферу привносится около 102 тыс. килотонн диоксида серы. Причём доля вулканизма в общей массе не велика и составляет всего 14 тыс. килотонн в год. Наибольшая масса [3] выбросов SO₂ приходится на промышленное производство (около 67 тыс. килотонн в год). Для вулканизма характерно наличие двух основных механизмов дегазации диоксида серы. Первый – дегазация при извержениях, в результате которых в атмосферу поступает от 500 до 4 000 килотонн SO₂ в год. При этом происходит излияние лавы, выбросы пепла на высоту до 40 км за достаточно короткий период времени (часы или сутки). Второй – пассивная вулканическая дегазация, которая является источником гораздо большего количества SO₂ (от 5 000 до 10 000 килотонн в год). Этот тип вулканической активности характеризуется долгим временным периодом (недели-столетия), небольшой высотой дегазации (до 5 км над уровнем моря). Эти два типа вулканической активности, сопровождаемой дегазацией SO₂, можно рассмотреть на примере некоторых вулканов Камчатки.

Вулкан Мутновский

Ярким примером пассивной дегазации является Мутновский вулкан. Наземными инструментальными методами (COSPEC) в 1999 году было определено [4], что средний объём дегазации SO₂ для этого вулкана равен примерно 50 тонн/день. На протяжении всего апреля 2007 года по данным OMI SO₂ над кратером вулкана фиксировалась повышенная концентрация диоксида серы (рис. 1 и 2) которая постепенно увеличивалась и достигла максимума 17 апреля (на момент пролёта спутник в 2:50 UTC масса SO₂ составляла 330 тонн), после чего пошла на убыль.

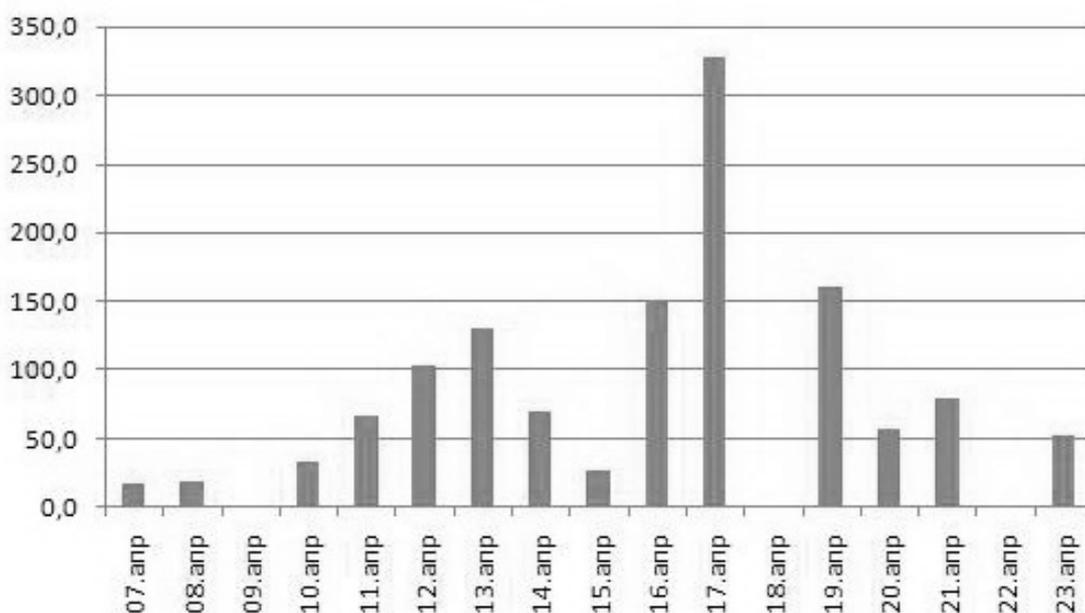


Рис. 1. График распределения концентраций SO₂ (в тоннах) над Мутновским вулканом в апреле 2007 г.

Предполагается, что 17 апреля 2007 года произошло небольшое фреатическое извержение вулкана [5]. Подтверждением этого являются визуальные данные, полученные в результате полевых работ 25-28 мая 2007 г. – западные склоны вулкана были покрыты тонким слоем резургентного пепла, а на дне Активного кратера наблюдалась новая взрывная воронка диаметром около 200 метров. Так же, данные полученные со спутников AVHRR и MODIS зафиксировали 17 апреля небольшое пепловое облако в непосредственной близости от вулкана.

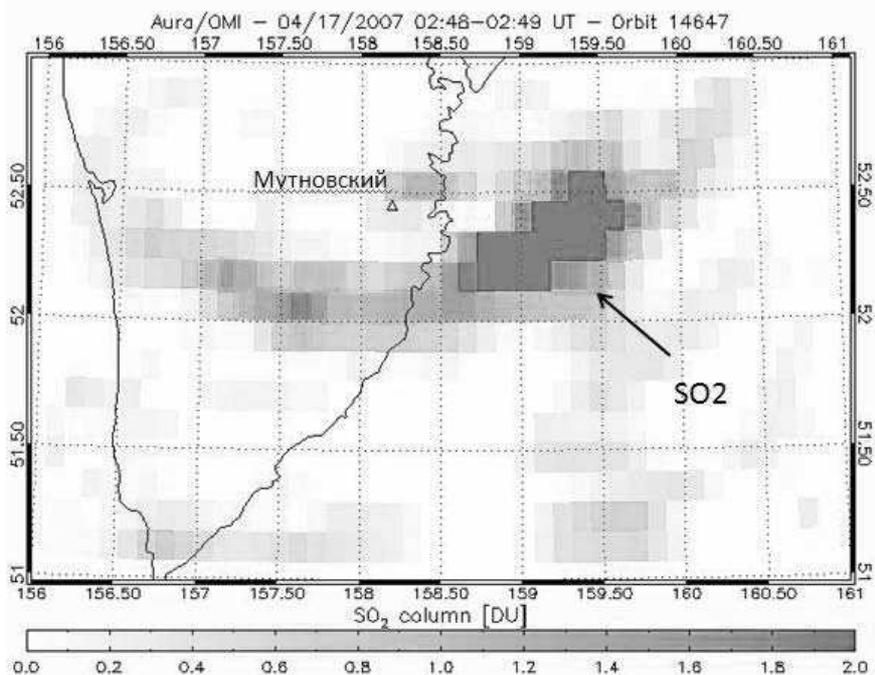


Рис. 2. Изображение облака содержащего высокие концентрации SO_2 , вероятно, образовавшегося в результате фреатического извержения Мутновского вулкана. Данные OMI 17 апреля 2007 г. 02:48 UTC

Вулкан Ключевской

Извержение Ключевского вулкана продолжалось с февраля по июль 2007 г. Наиболее активная фаза извержения была в мае-июле 2007 г. На момент начала активизации (февраль-март) вулкана концентрации SO_2 были малы для их обнаружения с помощью OMI SO_2 . В этот период, по визуальным данным, отмечалось умеренное свечение над кратером и мощная парогазовая деятельность. Только к 20-м числам апреля начинает фиксироваться повышенное содержание SO_2 , в этот период уже происходят излияния лавы и пепловые выбросы. Всего за активную фазу извержения в атмосферу поступило более 120 кило тонн диоксида серы. Помимо концентраций SO_2 данные OMI, на основе аэрозольного индекса, предоставляют информацию о наличии в атмосфере твёрдых частиц пепла (рис. 3).

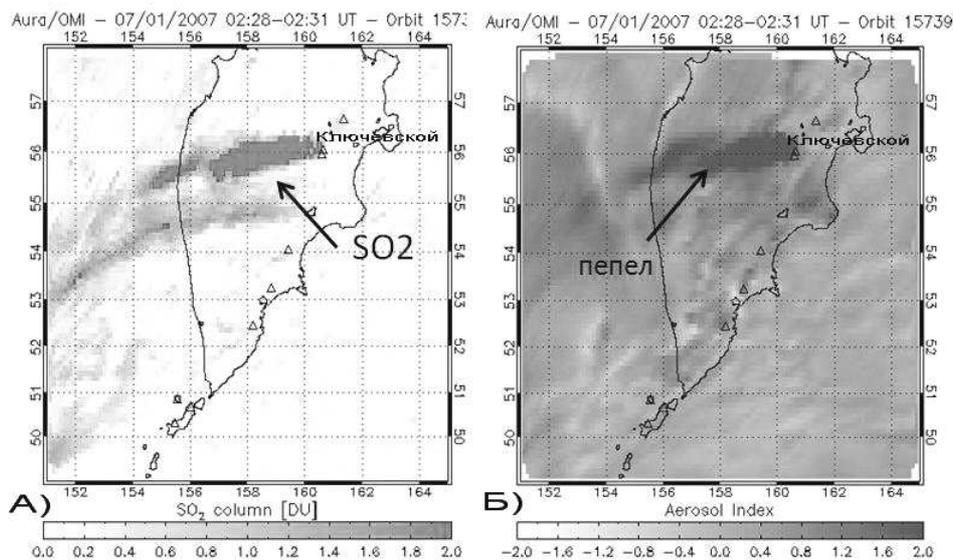


Рис. 3. Снимок OMI за 1 июля 2007 г. Рисунок А) показывает распределение и концентрации шлейфа содержащего SO_2 . На рисунке Б) отображается аэрозольный индекс, характеризующий количество и плотность твёрдых частиц пепла

Вулкан Шивелуч

У вулкана существует постоянная пассивная дегазация, однако SO_2 (с использованием OMI) регистрируется только во время крупных эксплозивных событий. Причём даже в эти периоды концентрации SO_2 незначительны. Вероятно, это связано с тем, что эксплозивные события протекают достаточно быстро (часы) и диоксид серы успеваает рассеяться в атмосфере. Учитывая тот факт, что OMI/Aura совершает только 1 виток в сутки над территорией Камчатки, то вероятность фиксации столь короткого события становится мала. 29 марта 2007 г. произошло крупное эксплозивное событие. Общая масса зафиксированного диоксида серы составила всего 29 тонн при наличии большого количества аэрозоля (рис. 4).

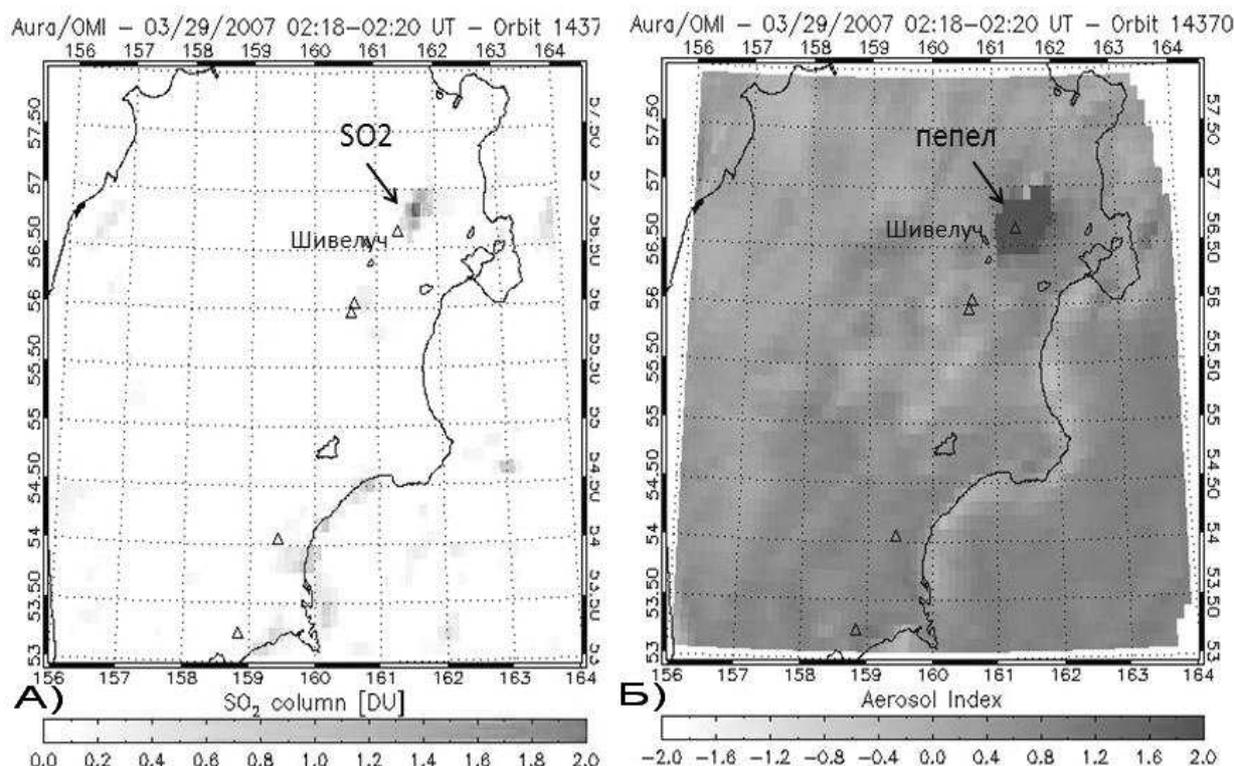


Рис. 4. Снимок OMI за 29 марта 2007 г. Рисунок А) показывает концентрации SO_2 выделившегося при эксплозивном событии. На рисунке Б) отображается аэрозольный индекс, характеризующий количество и плотность твёрдых частиц пепла

Можно предположить, что во время крупных эксплозивных событий выбрасывается столь большое количество твёрдых частиц, что становится проблематичным определить истинные концентрации SO_2 .

Вулкан Безымянный

Деятельность вулкана характеризуется циклическими эксплозивными событиями (примерно 1 раз в 6 месяцев). Обычно события скоротечны (часы) и при помощи OMI зафиксировать диоксид серы не удавалось. Однако, 14 октября 2007 в 14:27 UTC началось эксплозивное извержение, длившееся двое суток. В результате было извержено большое количества пепла, излился лавовый поток. Общая масса диоксида серы за период извержения составила 3 килотонны (рис. 5).

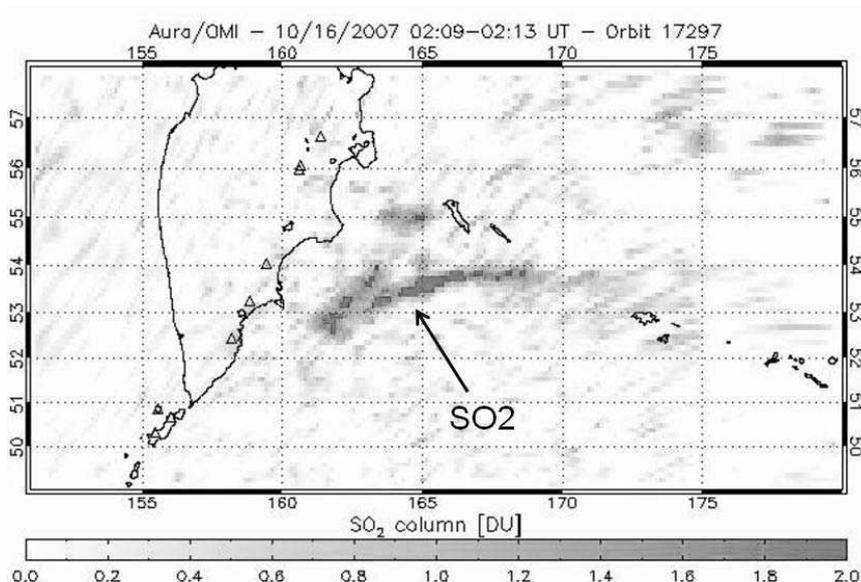


Рис. 5. Облако, содержащее диоксид серы появившееся в результате извержения вулкана Безымянного. Данные ОМІ 16 октября 2007 г.

Заключение

Спутниковые методы исследований являются неотъемлемой частью изучения вулканической активности. Значительно расширить эти наблюдения и предоставить новую информацию о жизни вулканов позволяют данные получаемые из космоса прибором Ozone Monitoring Instrument. При помощи ОМІ становится возможным выявлять повышенные концентрации диоксида серы в периоды пассивной вулканической дегазации и на этапе активной фазы извержений. В некоторых случаях фиксируется увеличение концентрации SO_2 в предэруптивный период, что может являться прогнозным методом. За 2007 год вулканами Камчатки (Ключевской, Безымянный, Шивелуч, Карымский, Мутновский) было продуцировано в атмосферу более 150 килотонн диоксида серы (на основании измерений ОМІ SO_2).

Хотя у данного метода существуют свои ограничения (зависимость от интенсивности солнечного света и периодичность повторения орбиты) наблюдения за концентрациями SO_2 являются важным направлением исследований для понимания жизнедеятельности вулканов, климатических изменений, обеспечения здоровья населения, безопасности полётов авиации. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 08-05-00453.

Литература

1. Krotkov, N. A., Carn, S. A., Krueger, A. J., Bhartia, P. K., Yang, K. Band residual difference algorithm for retrieval of SO_2 from the Aura Ozone Monitoring Instrument (OMI) // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, AURA Special Issue, 44(5), 1259-1266.
2. Carn, S.A., N.A. Krotkov, K. Yang, R.M. Hoff, A.J. Prata, A.J. Krueger, S.C. Loughlin, and P.F. Levelt Extended observations of volcanic SO_2 and sulfate aerosol in the stratosphere // Atmos. Chem. Phys. Discuss., 7, 2857-2871.
3. Andres R.J., and A.D. Kasgnoc. A time-averaged inventory of subaerial volcanic sulfur emissions // J. Geophys. Res., 103, 25251-25261, 1998.
4. Fisher, J.M., Fisher, T.P., Roggensack, K., Williams, S.N. Magmatic volatiles from the Kamchatka volcanic arc// AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, Dec 11-15, 1999.
5. Гавриленко Г.М., Мельников Д.В., Зеленский М.Е., Тавиньо Л. Многолетний гидрохимический мониторинг вулкана Мутновский (Камчатка) и фреатическое извержение вулкана в апреле 2007 г // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1(9). С. 127-132.