

Категория		Название
НО:	<b>11.A</b>	<b>Вулканы</b>
ИНЗВ:	<b>1108</b>	<b>Вулканы</b>
	<b>110800</b>	<b>Вулканы</b>
МСОК:		
Версия	<b>Руководство 2019</b>	

#### **Основные авторы**

Доменико Гаудиозо и Райнер Штайнбрехер

#### **Соавторы (включая лиц, внесших свой вклад в разработку предыдущих версий данной главы)**

Роберт Джей Андрес, Гарри Пинкертон, Майк Вудфилд, Вильфрид Винивартер

# Оглавление

1	Общие сведения .....	3
2	Описание источников .....	3
2.1	Описание процесса .....	3
2.2	Методики .....	3
2.3	Выбросы .....	4
2.4	Средства регулирования .....	4
3	Методы .....	4
3.1	Выбор метода .....	4
3.2	Подход Уровня 1 по умолчанию .....	4
3.3	Технологический подход Уровня 2 .....	5
3.4	Моделирование выбросов Уровня 3 и использование объектных данных .....	5
4	Качество данных .....	11
4.1	Полнота .....	11
4.2	Предотвращение двойного учета с другими секторами .....	11
4.3	Проверка достоверности .....	11
4.4	Разработка согласуемых временных рядов и пересчет .....	11
4.5	Оценка неопределенности .....	11
4.6	Обеспечение/контроль качества инвентаризации ОК/КК .....	11
4.7	Координатная привязка .....	12
4.8	Отчетность и документация .....	12
5	Глоссарий .....	13
6	Список цитированной литературы .....	13
7	Наведение справок .....	15

## 1 Общие сведения

В данной главе описываются выбросы, образуемые при геотермической активности, как активность при извержениях, так и не при извержениях. Источники включают в себя не только вулканы, но также фумаролы, гейзеры, метаморфическую дегазацию или другие виды осуществляемой деятельности, касающейся расплавленной магмы в земной коре. Нагретая магма под давлением содержит газы, такие как, двуокись серы, двуокись углерода, сероводород, ртуть и хлор. Эти газы могут высвободиться с приближением магмы к земной поверхности, при этом давление может нагнетаться.

С учетом разных источников не извергающиеся вулканы, в которых дегазация происходит при относительно постоянной скорости, представляются более важными, чем те, в которых дегазация происходит при спорадических извержениях, как по выбросам  $\text{CO}_2$  (Gerlach, 1990), так и по  $\text{SO}_2$  (Andres и Kasgnoc, 1997). Тем не менее, спорадические выбросы гораздо сложнее подсчитать.

Некоторые выбросы могут быть также рассмотрены как антропогенные выбросы, когда создаются геотермальными электростанциями, где бурятся искусственные скважины для добычи горячей воды из земных недр. Однако эти выбросы рассматриваются в категории источников НО 1.В.2.а.ви Вывод геотермальной энергии, которые предполагаются как довольно небольшие выбросы.

Вулканические выбросы показывают значительные региональные и временные изменения. Вулканические зоны наиболее подвержены воздействию, а вулканическая деятельность стремится быть крайне изменчивой. Количество активных поверхностных вулканов в год, основанное на пятилетнем скользящем среднем значении, составляет примерно 60 (Andres и Kasgnoc, 1997; Симкин и Siebert, 1984). Подсчитано, что глобально выбросы  $\text{SO}_2$ , образуемые вулканами, составляют около 10-12% от антропогенного притока (Halmer et al., 2002). Считается, что выбросы  $\text{CO}_2$ , образуемые вулканами, составляют два порядка величины ниже, чем антропогенный выход  $\text{CO}_2$  (Gerlach, 1990). Значительные выбросы аэрозолей присутствуют в большинстве вулканических шлейфов (Ammann et al., 1990). Выбросы Hg,  $\text{Cl}_2$  и  $\text{F}_2$  измерялись время от времени, поэтому их сложно обобщить.

## 2 Описание источников

### 2.1 Описание процесса

Нагретые породы в земной коре могут химически измениться таким образом, что происходит высвобождение газов. Так карбонаты выделяют  $\text{CO}_2$ , а сульфаты  $\text{SO}_2$ . Эти газы могут быть растворены в расплавленной магме при высоком давлении. Достигая поверхности (либо на морском дне для подводных вулканов, либо в атмосфере), давление понижается, а газы выбрасываются в атмосферу.

### 2.2 Методики

Дифференциация методик не применяется к источникам естественных выбросов. Тем не менее, существуют различные категории источников. Вулканы являются такими источниками, в которых происходит выход магмы. Напротив, фумаролы и другие источники выбрасывают только газы сквозь трещины в породах.

Вулканы также существенно различаются по характеру выбросов. Выход газов может происходить непрерывно (в мировом масштабе этот процесс составляет значительную долю выбросов), либо эпизодически в процессе извержения. Выбросы, образующиеся при извержениях, также могут быть дифференцированы; извержения в дуговом тектоническом режиме стремятся быть более интенсивными, но, кажется, имеют более предсказуемую модель силы взрываемости по отношению к выбросам  $\text{SO}_2$ .

Хорошо известны различные типы вулканов, а данные по ним доступны. В целом, вулканы непрерывного потока содержат магму с низкой вязкостью, а, следовательно, пологие склоны, в то время как извергающиеся вулканы сравнительно высокие.

## 2.3 Выбросы

Вулканы извергают в атмосферу значительные потоки газов и частиц, и те и другие выбрасываются как во время извержений, так и при продолжительной не извергающейся дегазации. Наиболее важными веществами, высвобождаемыми напрямую из магмы при высоких температурах, являются  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ; примесные компоненты включают в себя  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{CuCl}$  и др. (Etiope и Klusman, 2002).

Вулканические выбросы также содержат вещества, создаваемые в экстремальных средах, связанных с вулканом. Наблюдения за потоком  $\text{NO}_x$ , связанным с вулканической деятельностью, говорят о том, что это является результатом термального окисления  $\text{NO}$ , образованного реакцией  $\text{N}_2$  (из атмосферы, как и из магматических источников) и  $\text{O}_2$  (из атмосферы), с последующим быстрым окислением продукта  $\text{NO}$  (Pyle et al., 2005).

Выбросы аэрозолей или твердых частиц могут происходить из (Mather et al., 2004):

- Пирокластического материала (продукты вулканических извержений);
- Конденсации вулканических газов, когда они остывают;
- Трансформации существующих частиц;
- Низкотемпературных реакций (реакций преобразования газа в твердые частицы при температуре внешней среды и реакций водной фазы).

Выбросы метана из месторождений термальных вод происходят через бактериальное и термическое разложение органического материала, а также посредством неорганического синтеза (тип Fischer-Tropsch):  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  и дегазации из мантии (Etiope и Klusman, 2002).

## 2.4 Средства регулирования

По определению не существует средств регулирования естественных выбросов.

# 3 Методы

## 3.1 Выбор метода

Очень мало информации доступно по выбросам, образуемым вулканами, и такая доступная информация не позволяет нам определить подход по тому или иному уровню, как в других главах. Уровень 1 и Уровень 2 не содержат коэффициенты выбросов, а выбросы могут быть подсчитаны, только применив подход по Уровню 3.

## 3.2 Подход Уровня 1 по умолчанию

### 3.2.1 Алгоритм

Подход по Уровню 1 для выбросов по этой категории источников применяет общее уравнение:

$$E_{\text{загрязнитель}} = AR_{\text{производство}} \times EF_{\text{загрязнитель}} \quad (1)$$

Это уравнение применяется на уровне той или иной страны, используя национальную годовую статистику по вулканической деятельности. Но для данной категории источников сложно установить показатели осуществляемой деятельности.

### 3.2.2 Коэффициенты выбросов по умолчанию

Основным выбросом, образуемым вулканами, является  $SO_x$ . Однако подсчет по Уровню 1 не возможен, поскольку простого коэффициента выбросов не существует для расчета суммарных выбросов  $SO_x$ , образуемых вулканами. Поэтому выбросы  $SO_x$  указаны в таблице ниже как 'Not Estimated' (не подсчитанные). Как указано в подразделе 2.3 настоящей главы, также могут выбрасываться другие следовые элементы, но коэффициентов выбросов для них нет.

Для подсчета выбросов, образуемых вулканами, рекомендуется применять подход, приведенный в разделе для Уровня 3.

Таблица 3-1 Коэффициенты выбросов Уровня 1 для категории источников 11.А Вулканы

Коэффициенты выбросов по умолчанию Уровня 1					
	Код	Название			
Категория источника НО	11.А	Вулканы (11.08)			
Топливо	НЕТ ДАННЫХ				
Не применяется	Aldrin, Chlordane, Chlordecone, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Heptabromo-biphenyl, Mirex, Toxaphene, HCH, DDT, PCB				
Не оценено	NO <sub>x</sub> , CO, NMVOC, SO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , TSP, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn, PCDD/F, Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Total 4 PAHs, HCB, PCP, SCCP				
Загрязнитель	Значение	Единицы	95% доверит. интервал		Ссылки
			Нижний	Верхний	

### 3.2.3 Данные по осуществляемой деятельности

Нет статистических данных. Вместо этого, геологическую информацию необходимо получить из данных соответствующего национального геологического исследования.

Данные со спутников могут быть, в принципе, получены от Национального агентства по авиации и исследованию космического пространства (NASA) или от Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (NOAA), соответственно. Однако точные методики пока не проверены.

## 3.3 Технологический подход Уровня 2

Уровень 2 не доступен для этой категории источников. Для подсчета выбросов, образуемых вулканами, рекомендуется применять подход, приведенный в разделе для Уровня 3.

## 3.4 Моделирование выбросов Уровня 3 и использование объектных данных

### 3.4.1 Описание методологии

В данном разделе описывается методология подсчета выбросов, образуемых вулканической деятельностью. Она разделена на две части: Первая часть описывает современную методологию, а во второй части говорится об усовершенствованной методологии.

#### 3.4.1.1 Современная методология

Первичным источником геотермальных выбросов являются активные вулканы. Эти вулканы хорошо известны и описаны с геологической точки зрения. Большие усилия были сделаны в развитии систематических измерений шлейфов по программам слежения за вулканами. В частности, по Килауи и горе Святой Елены ведутся почти непрерывные записи потоков  $SO_2$  с 1979 и 1980 г.г., соответственно (Malinconico, 1987), а системы непрерывного контроля действуют на горе Этна и

Стромболи с 2002 года (INGV (Итальянский национальный институт геофизики и вулканологии), 2005). Выбросы  $SO_2$  обычно подсчитываются с использованием спектрометрических данных (Hoff и Gallant, 1980) корреляционных спектрометров (Cospec) (Gerlach и McGee, 1994), полученных посредством стационарных и мобильных технических средств наземного базирования, либо авиационных технических средств, а также в сочетании с имеющимися спутниковыми данными (Gerlach и McGee, 1994). Cospec применим во многих полевых и вулканических условиях, но используется по стандартной методике, более всего, при условиях от спокойного до легкого взрывоопасного состояния. Cospec обычно не применяется при существенных вулканических извержениях по причине логистических и приборных ограничений. Тем не менее, значительные извержения могут временами отслеживаться со спутников, особенно, при помощи спектрометра для сплошного картирования озонового слоя (TOMS) (Krueger et al., 1995). Как и Cospec, TOMS измеряет только выбросы  $SO_2$ . В измерениях вулканической аэрозоли и определении характеристики вулканического шлейфа было применено разнообразие технических средств дистанционного зондирования и прямого отбора проб (Matheret et al., 2004).

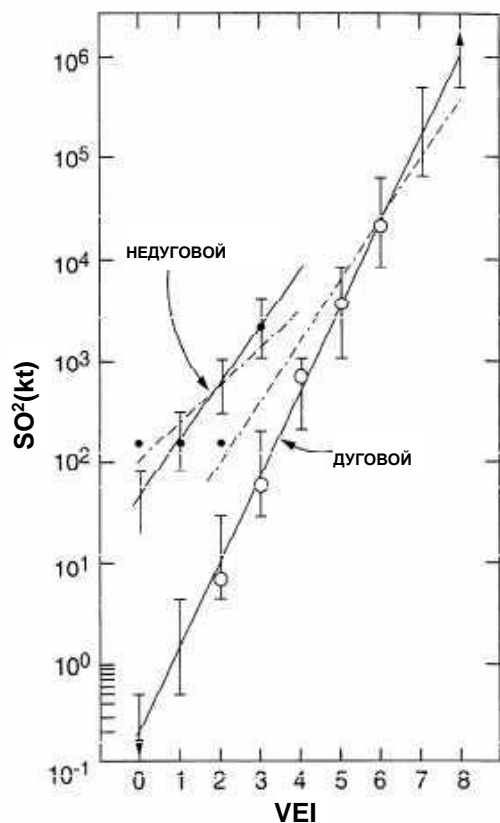
Была проведена подробная компиляция существующих, замеренных потоков S для Осуществляемой деятельности по инвентаризации глобальных выбросов (GEIA) (Andres и Kasgnoc, 1997). Комплект данных включает в себя выбросы  $SO_2$ , усредненные за 25 лет, с начала 1970-х до 1997 года, основываясь на измерениях Cospec. Сюда входят средние выбросы  $SO_2$  из 49 непрерывно выбрасывающих вулканов (четыре расположены в Европе: Этна, Стромболи, Вулкано и Кверкфьоль) и максимальные выбросы  $SO_2$  из 25 спорадически выбрасывающих вулканов (расположены не в Европе). Эта информация может быть экстраполирована, чтобы предоставить цифры по выбросам  $SO_2$  по ~ 300 активным в настоящий момент вулканам. Выбросы  $SO_2$ , образуемые при взрывоопасном вулканизме, могут быть подсчитаны, исходя из Показателя вулканической взрывоопасности (VEI) вулканов. VEI основан на высоте столба извержения и объема выбрасываемого материала; это представляет собой открытую шкалу с VEI 0 для извержений с небольшим характером взрывоопасности до VEI 8 широко известных исторических извержений (Newhall и Self, 1982).

Сеть по глобальному вулканизму Смитсоновского института ведет каталоги по каждому извержению в течение 200 лет и предоставляет значения показателя вулканической взрывоопасности по каждому отдельному извержению ([www.volcano.si.edu/gvp/](http://www.volcano.si.edu/gvp/)). Должна быть сделана дифференциация между дуговыми и недуговыми вулканами. Рекомендуется соразмерять выбросы, образуемые извергающимися вулканами, с выбросами одного из тех, что приведены в комплекте данных (Andres и Kasgnoc, 1997).

Компиляция также содержит средний относительный массовый расход  $SO_2$  для пяти форм серы ( $H_2S$ ,  $CS_2$ ,  $OCS$ ,  $SO_4^{2-}$  и S в форме частицы), которые могут быть использованы для подсчета среднего потока. Выбросы  $CO_2$  могут быть также взяты из выбросов  $SO_2$  с учетом дополнительных неопределенностей. Вторичные источники (фумаролы, гейзеры) вряд ли могут считаться существенными источниками выбросов, за исключением метана. Рекомендуется подсчитывать диффузионные выбросы, взяв за основу среднюю величину потока газа на единицу поверхности и площади земли, на которой происходит это явление, принимая во внимание, что выбросы из газовых воронок могут быть подсчитаны по приближенному представлению количества источников, объемного потока газа и концентраций. Etiope и Klusman (2002) собрали имеющиеся в наличии данные, как по диффузной дегазации грунта, так и по газовым воронкам.

### 3.4.1.2 Усовершенствованная методология

Для подсчета выбросов  $SO_2$  при взрывоопасном вулканизме Schnetzler et al. (1997) предложили термин 'VSI' (Показатель вулканической двуокиси серы). В сравнении с VEI показатель VSI напрямую касается количества образуемой вулканической  $SO_2$ . Он отмасштабирован, чтобы быть максимально совместимым с VEI и делает возможным дифференциацию между дуговыми и недуговыми вулканами.



**Рисунок 3-1** Среднее количество выбросов SO<sub>2</sub>, образуемых при извержениях вулканов, в качестве функции показателя вулканической взрывоопасности (VEI) для дуговых и недуговых вулканов (Schnetzler et al., 1997)

Холмер с соавторами (2002) компилировали комплект глобальных данных вулканической дегазации как во время взрывных вулканических событий, так и в бездействующих вулканах. Они изменили исходный показатель вулканической двуокиси серы (VSI), умножив его на коэффициент примерно 2 для приведения в соответствие величин замеренных выбросов SO<sub>2</sub>. Для непрерывно извергающих вулканов подсчет был основан на следующих параметрах, касающихся отслеживаемых вулканов:

- Стадия активности (спокойная или взрывоопасная);
- Тектоническое положение (зона движения по разломам, зона крупных разломов и океанический остров);
- Состав магмы (от базальтового до широко дифференцированного).

Комплект данных также содержит полуколичественный подсчет других извергнутых компонентов газа, исходя из потока SO<sub>2</sub> и известных мольных отношений (например, H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub>), в соответствии с предположением, что различные компоненты газа, выбрасываемые вулканом, находятся в равновесии друг с другом, и что мольные отношения газовых веществ в высокотемпературных фумаролах схожи с мольными отношениями, уравновешенными на глубине, где газ отделяется от магмы.

### 3.4.2 Подсчет выбросов Уровня 3

Для взрывоопасных выбросов была разработана следующая зависимость (Bluth et al., 1993):

$$\log E = -0.25 + 0.76 \text{ VEI} \quad (2)$$

где:

- E является количеством выбросов SO<sub>2</sub> (килотонн),
- VEI – это показатель вулканической взрывоопасности.

Она применяется только для дуговых вулканов. Для недуговых вулканов количество извергнутой SO<sub>2</sub> обычно в гораздо большей и меньшей степени зависит от показателя вулканической взрывоопасности (VEI). Рекомендуется сделать допуск на порядок величины выше количества выбросов для извержений недуговых вулканов, используя ту же формулу, что и для дуговых вулканов. При этом неопределенность очень высокая. В качестве альтернативы может использоваться концепция показателя вулканической двуокиси серы (VSI), которая указана в таблице 3-2 Показатель вулканической SO<sub>2</sub> (VSI), предложенный Schnetzler et al. (1997), в сравнении со шкалой показателя вулканической взрывоопасности (VEI) Newhall и Self (1982) 2 (Schnetzler et al., 1997).

**Таблица 3-2 Показатель вулканической SO<sub>2</sub> (VSI), предложенный Schnetzler et al. (1997), в сравнении со шкалой показателя вулканической взрывоопасности (VEI) Newhall и Self (1982)**

VSI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SO <sub>2</sub> дугового вулкана [килотонн]	< 0.5	0.5–4	4–30	30–200	200–1 000	1 000–8 000	8–60 · 10 <sup>3</sup>	60–500 · 10 <sup>3</sup>	> 500 · 10 <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub> недугового вулкана [килотонн]	< 80	80–300	300–1000	1 000–4 000					
VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Общее описание	Не взрывоопасные	Небольшие	Средние	Умеренно большие	Большие	Очень большие	Очень большие	Очень большие	Очень большие
Высота облачного столба [км]	< 0.1	0.1–1	1–5	3–15	10–25	> 25	> 25	> 25	> 25
Объем продуктов вулканических извержений [м <sup>3</sup> ] (только дуговые)	< 10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> –10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup> –10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> –10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup> –10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup> –10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup> –10 <sup>11</sup>	10 <sup>11</sup> –10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup> –10 <sup>13</sup>

Измененный показатель вулканической серы (VSI), предложенный Halmer et al. (2002), приведен в таблице 3-3 ; исходные величины показателя вулканической серы (VSI) были умножены на коэффициент примерно 2 для приведения в соответствие с величинами измеренных выбросов SO<sub>2</sub>.



Таблица 3-3 Измененный показатель вулканической серы (VSI), предложенный Halmer et al. (2002)

VSI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SO <sub>2</sub> вулканов зоны движения по разломам [килотонн]	< 1	1–8	8–60	60–800	200–2 000	1–16 · 10 <sup>3</sup>	16–120 · 10 <sup>3</sup>	120–1 000 · 10 <sup>3</sup>	> 1 000 · 10 <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub> других вулканов [килотонн]	< 160	160–600	600–2 000	2 000–8 000					

Для невзрывоопасных выбросов рекомендуется подсчитать выбросы SO<sub>2</sub>, исходя из информации, доступной для отслеживаемых вулканов, с учетом следующих параметров: Стадия активности, тектоническое положение и состав магмы (Halmer et al., 2002).

Выбросы CO<sub>2</sub> находятся в диапазоне 0,01–0,05 10<sup>12</sup> моль/год (0,44–2,2 метрических тонн/год) для одного основного вулкана (Gerlach, 1991), но, порой, значительно выше (гора Этна: совокупные выбросы в шлейфе и диффузионные выбросы 25 метрических тонн в год). Считается, что соотношение CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> составляет около 1,5 для выбросов, образуемых дугowymi вулканами, а глобально до 4 или 5 по мольной шкале (Gerlach, 1991), частично разница вызвана необычно высоким количеством выбросов CO<sub>2</sub>, создаваемых горой Этна. Эти цифры можно взять, если нет никакой другой информации.

Согласно Andres и Kasgnoc (1997) отношение SO<sub>2</sub>-S к S в других формах серы составляет примерно 2:1 с 71% серы, содержащейся в H<sub>2</sub>S. Относительный массовый расход H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub> составляет 0,21 и может применяться для подсчета выбросов H<sub>2</sub>S. Относительный массовый расход для других соединений S основан на нескольких измерениях, и, следовательно, подвержен действию многих ошибочных источников.

Отношения SO<sub>2</sub>/HCl в вулканической среде (либо фумаролы, либо шлейф) часто изучены, поскольку они могут дать ценные наблюдения для познания вулканических процессов, например, когда речь идет о составе магмы и взаимодействии магматических газов с гидротермальными системами. Результаты измерений шлейфа, доступные горы Этна между 1992 и 1995 годами и в 2002–2003 годах, как для периода вулканической активности, так и для периода, не сопровождавшегося вулканической активностью, ясно показывают постоянные отношения HCl/HF, но, при этом, широкие колебания в отношениях SO<sub>2</sub>/HCl (Pennisi и Le Cloarec, 1998; Aiurra et al., 2004). Образцы, собранные между 1992 и 1995 годами, характеризуются отношениями HCl/HF между 5 и 14 (Pennisi и Le Cloarec, 1998). В период май–июнь 2002 года мольное отношение SO<sub>2</sub>/HCl в замерах шлейфа для горы Этна систематически показывали величину 4,5±1, при этом, мольное отношение HCl/HF варьировало в диапазоне от 6 до 12 (Aiurra et al., 2004). Во время извержения горы Этна с октября 2002 года по февраль 2003 года мольное отношение SO<sub>2</sub>/HCl резко возросло с 4 до 8 в декабре 2002 года, а затем снизилось в течение всего периода извержения до 1,5 в феврале 2003 года. Для дальнейшего применения рекомендуется учесть довольно постоянное соотношение HCl/HF, наблюдаемое в течение всего периода в качестве характерной особенности вулкана (Pennisi и Le Cloarec, 1998). Было указано среднее относительное массовое соотношение SO<sub>2</sub>/HF в шлейфе в примерно 27 (Pennisi и Le Cloarec, 1998; Aiurra et al., 2004; Francis et al., 1998; Aiurra et al., 2001; Burton et al., 2003).

Есть данные по выбросам F и Cl для горы Эребус в Антарктиде, которые содержат очень необычную щелочную магму, богатую на галогены и следы различных металлов. Поэтому необходимо, чтобы эти данные рассматривались как указание верхней границы скорее, чем коэффициент выбросов как таковой. Среднее соотношение F/S (по весу) в газе Эребуса указывалось как 0,69, для Cl/S оно 0,55 (Zreda-Gostynska et al., 1993). Аналогичным образом, Гекла (Исландия) известна своей высокой концентрацией F и Cl во время извержения. При компиляции их комплекта данных Halmer et al. (2002)

использовали мольные отношения, приведенные в таблице 3-4 (однако рекомендуется использовать эти результаты только, если нет соответствующей информации).

**Таблица 3-4 Мольные отношения для галогеносодержащих соединений, выбрасываемых из вулканов (Halmer et al., 2002)**

	SO <sub>2</sub> / HCl	SO <sub>2</sub> / HF	HBr / HCl
Вулканы, относящиеся к зоне движения по разломам	0.1–10	2–18	0.4–2.4 · 10 <sup>-3</sup>
Другие вулканы	97	70	

Недавние замеры HNO<sub>3</sub> в шлейфе вулкана дали средние мольные отношения HNO<sub>3</sub>/SO<sub>2</sub> в 0,01, 0,02, 0,05 и 0,07 для Вилларика, Малайзия, Этна и Ласкар, соответственно (Mather et al., 2004). Выбросы тяжелых металлов, образуемые вулканами, как правило, подсчитаны на основе соотношений металл/сера; но имеющиеся результаты замеров нельзя обобщить. Были указаны выбросы паров фумарол 4–20 мг Hg/кг, которые могут быть применены (Ferrara et al., 1994).

Подсчет потока частиц для отдельных вулканов показал порядки величины колебаний, даже для одного и того же вулкана в той же фазе активности (Mather et al., 2003). Измерения, проведенные вблизи вершины горы Этна в октябре 1997 года с использованием восьмиканального фотометра, следящего за солнцем, показывают трехвершинное распределение, состоящее из частиц радиусом < 0,1 мкм (режим нуклеации), вероятный второй режим мелких частиц (< 1,0 мкм) и большие частицы радиусом > 1,0 мкм (мелкие кислотные капли) с минимальным значением 0,5 и 1,5 мкм. Средний эффективный радиус был определен как 0,83 мкм в пределах 0,35 < r < 1,6 мкм, а суммарный массовый расход аэрозоли был подсчитан как 4,61–7,91 кг/с в режиме малого радиуса, давая 6–18% суммарного массового расхода; соответствующий подсчет для потока серы составил 0,5–0,8 кг/с в потоке SO<sub>2</sub>, что равно примерно 56,4 кг/с (Watson и Orpenheimer, 2001).

Выбросы CO<sub>2</sub>, образуемые геотермальными полями, были переданы в Харден (1989). Строго говоря, эти выбросы являются антропогенными выбросами, так что рекомендуется сообщать о них применительно к выработке электроэнергии (Глава 1.А.1 Энергетическая промышленность).

### 3.4.3 Данные по осуществляемой деятельности

Сеть по глобальному вулканизму Смитсоновского института ([www.volcano.si.edu/](http://www.volcano.si.edu/)) предоставляет информацию по каждому вулканическому извержению в течение последних 200 лет, а также даты и величины взрывоопасности больших извержений в период голоцена (последние 10 000 лет). Величина показателя вулканической взрывоопасности указывается для каждого отдельного извержения. По каждому вулкану существуют описания вулканической деятельности, представленные в отчетах за каждый месяц или за каждую неделю. Что касается итальянских вулканов, потоки SO<sub>2</sub> из горы Этна имеются в наличии с 1975 года. За период 1975–1987 г.г. они были основаны на эпизодических измерениях Cosres, предоставляемых тремя различными источниками (Allard et al., 1991; Caltabiano et al., 1994; Allard, 1997). С 1988 года регулярные измерения (четыре замера каждый месяц) проводились Национальным институтом геофизики и вулканологии (INGV) — Раздел Катания (Bruno et al., 1999).

## 4 Качество данных

### 4.1 Полнота

Какая-то специфика отсутствует.

### 4.2 Предотвращение двойного учета с другими секторами

Какая-то специфика отсутствует.

### 4.3 Проверка достоверности

Петрологические подсчеты выбросов летучих веществ во время извержений, основанные на содержании летучих веществ включений расплава, захваченных кристаллами, могут использоваться для проверки данных, полученных при спектроскопических замерах (Gerlach et al., 1994). Однако этот подход, в основном, дает минимальные подсчеты.

### 4.4 Разработка согласуемых временных рядов и пересчет

Обобщение не возможно, например, некоторые вулканы, такие как, гора Этна, имеют память об их предыдущем поведении, при этом, другие показывают абсолютно беспорядочное поведение без корреляции между временем покоя и размером извержения. Временная разбивка может быть выполнена для прошлых периодов согласно имеющимся записям вулканической деятельности.

### 4.5 Оценка неопределенности

Измеренная изменчивость потоков диффузионных выбросов может быть порядка 20% (относительно стандартное отклонение), Allard (аллард) с соавторами. 1991). В дополнение к этому, рекомендуется принять во внимание, что общая погрешность отдельного замера Cospec, не включая затухания сигнала, в целом, находится в пределах от  $\pm 15$  до  $\pm 25$  %, а в наблюдаемом наихудшем случае составляла примерно  $\pm 25$  % (Malinconico, 1987). Тем не менее, считается, что погрешность коэффициентов выбросов находится в пределах одного порядка величины. Отношения  $SO_2-S$  к  $S$  в других соединениях серы и в других следовых веществах основаны только на нескольких замерах, и, следовательно, никаких количественных подсчетов неопределенности не может быть представлено.

### 4.6 Обеспечение/контроль качества инвентаризации ОК/КК

Замещающие параметры для установления коэффициентов выбросов довольно слабы. Необходимо подтверждение измерений Cospec данными спектрометра для сплошного картирования озонового слоя (TOMS) и петрологическими подсчетами для оценки выбросов, образуемых при извержениях. Имеющиеся результаты измерений не позволяют сделать обобщение отношений  $SO_2-S$  для других соединений  $S$  и других следовых веществ. Это применимо, в особенности, к отношениям металл/сера, которые изменяются не только от вулкана к вулкану, а также во временном и пространственном отношении в любом месте, таким образом, показывая разделение фазу частиц, богатых металлами, от газовой фазы, богатой серой. Фокус геохимических исследований вулканического шлейфа в прошлом был направлен на определение состава и интенсивности выбросов газов. Для улучшения нашего понимания выбросов вулканических частиц будущие эксперименты в естественных условиях должны быть нацелены на то, чтобы охарактеризовать химические процессы, регулирующие размер частиц для взаимодействия аэрозолей, частиц газа среди компонентов шлейфа и окружающей атмосферой (включая атмосферу сельской местности и городскую атмосферу, а также перенос и осаждение, как газообразных вулканических компонентов, так и компонентов в форме частиц) (Mather et al., 2004).

Таблица 4-1 Параметры неопределенности

Параметр	Оптимальный подсчет	Высокий	Низкий	Качество
Замеренные выбросы SO <sub>2</sub> из Этна [килотонн/год]	1 779	3 741	428	B
Замеренные выбросы SO <sub>2</sub> из Стромболи [килотонн/год]	110	113	107	B
Замеренные выбросы SO <sub>2</sub> из Вулкано [килотонн/год]	6.9	9.5	5.5	B
Подсчитанные средние годовые выбросы SO <sub>2</sub> исландских вулканов* [килотонн/год]	1 225	1 962	488	D
Относительное массовое отношение H <sub>2</sub> S-S к SO <sub>2</sub>	0.21	0.50	0.0024	C
Относительное массовое отношение SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S к SO <sub>2</sub>	0.034	0.060	0.0058	C
Относительное массовое отношение S в форме частиц к SO <sub>2</sub>	0.0060	0.010	0.0026	C
Относительное массовое отношение CS <sub>2</sub> -S к SO <sub>2</sub>	0.022	0.022	0.022	D
Относительное массовое отношение OCS-S к SO <sub>2</sub>	0.022	0.022	0.022	D
Мольное отношение SO <sub>2</sub> к HCl для Этны	5.05	10	0.1	C
Мольное отношение SO <sub>2</sub> к HCl для исландских вулканов	97	97	97	C
Мольное отношение HCl к HF для Этны	9.25	14	5	C
Мольное отношение SO <sub>2</sub> к HF для исландских вулканов	70	70	70	C
Мольное отношение HCl к HBr для Этны	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$0.4 \cdot 10^{-3}$	C
Мольное отношение HCl к HBr для исландских вулканов	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$0.4 \cdot 10^{-3}$	C
Мольное отношение HNO <sub>3</sub> к SO <sub>2</sub> для Этны	0.05	0.14	0.00	D
Мольное отношение общего количества частиц к SO <sub>2</sub> для Этны	0.1110	0.1402	0.0817	D

Примечание:

\* Применение измененного показателя вулканической серы (VSI), предложенного Halmer (Холмер) с соавторами (2002).

## 4.7 Координатная привязка

Рекомендуется ограничить зоны выбросов геологически активными зонами, такими как, кальдера.

## 4.8 Отчетность и документация

Какая-то специфика отсутствует.

## 5 Глоссарий

Вулкан	Место, где расплавленная магма/лава периодически достигает поверхности.
Недуговой вулкан	Вулкан на активном участке или в зоне крупных разломов (рифтовая зона) — извергается чаще, общее количество не значительно.
Дуговой вулкан	Вулкан в зоне движения по разломам — извержения более мощные.
Фумарола	Газовая воронка, образованная утечками из-под магмы.
Гейзер	Водяной фонтан, движимый выходящими газами благодаря действию горячей магмы.

## 6 Список цитированной литературы

- Aiuppa A., Bellomo S., D'Alessandro W., Federico C., Ferm M. and Valenza M. (2004). 'Volcanic plume monitoring at Mount Etna by diffusive (passive) sampling', *Journal of Geophysical Research*, 109, D21308.
- Aiuppa A., Federico C., Paonita A., Pecoraino G., Valenza M. (2002). 'S, Cl and F degassing as an indicator of volcanic dynamics: The 2001 eruption of Mount Etna', *Geophysical Research Letters*, 29(11), doi 10.1029/2002GL015032. Burton M., Allard P., Murè F.
- Allard P. (1997). 'Endogenous magma degassing and storage at Mount Etna', *Geophysical Research Letters*, 24, pp. 2219–2222.
- Allard P., Carbonnelle J., Dajlevic D., LeBronec J., Morel P., Robe M.C., Maurenas J.M., Faivre-Pierret R., Martin D., Sabroux J.C., Zettwog P.(1991). 'Eruptive and diffusive Emissions of CO<sub>2</sub> from Mount Etna', *Nature*, 351, pp. 387–391.
- Ammann M., Burtscher H. and Siegmann H.C. (1990). 'Monitoring volcanic activity by characterization of ultrafine aerosol', *Journal of Aerosol Science* 21 (Supp. 1), pp. 275–278.
- Andres R.J. and Kasgnoc A.D. (1997). 'A Time-averaged Inventory of Subaerial Volcanic Sulfur Emissions', *Journal of Geophysical Research*, Vol. 103, pp. 25251–25261.
- Bluth G.J.S., Schnetzler C.C., Krueger A.J., Walter L.S. (1993). 'The contribution of explosive volcanism to global atmospheric sulphur dioxide concentrations', *Nature* 366 (6453), pp. 327–329.
- Bruno N., Caltabiano T., Romano R. (1999). 'SO<sub>2</sub> emissions at Mt Etna with particular reference to the period 1993–1995', *Bulletin of Volcanology*, series/report No 60, pp. 405–411.
- Caltabiano T., Romano R., Buretta G. (1994). 'SO<sub>2</sub> flux measurements at Mount Etna, Sicily', *Journal of Geophysical Research*, 99, pp. 12809–12819.
- Etioppe G. and Klusman R.W. (2002). 'Geologic emissions of methane to the atmosphere', *Chemosphere*, 49, pp. 777–789.
- Ferrara R., Maserti B.E., De L.A., Cioni R., Raco B., Taddeucci G., Edner H. (1994). 'Atmospheric Mercury Emission at Solfatara Volcano (Pozzuoli, Phlegraen Fields-Italy)', *Chemosphere*, 29 (7) 1421(8).
- Francis P., Burton M.R., Oppenheimer C. (1998). 'Remote measurements of volcanic gas compositions by solar occultation spectroscopy', *Nature* 396, pp. 567–570.

- Gerlach T.M. (1990), Natural sources of greenhouse gases: carbon dioxide emissions from volcanoes. Transactions — 1990 International Symposium on Geothermal Energy, Kailua-Kona, HI, USA. Geothermal Resources Council v14 pt 1. Published by Geothermal Resources Council, Davis, CA, USA, pp. 639–641.
- Gerlach T.M. (1991). Present-day CO<sub>2</sub> emissions from volcanoes. EOS Trans (American-Geophysical-Union), 4.6.1991, 72 (23), 249 (3).
- Gerlach T.M., McGee K.A. (1994). Total sulphur dioxide emissions and pre-eruption vapor-saturated magma at Mount St. Helens, 1980–88', *Geophysical Research Letters*, 21 (25), pp. 2833–2836.
- Gerlach T.V., Westrich H.R., Casadevall T.J. and Finnegan D.L. (1994). 'Vapor saturation and accumulation in magmas of the 1989–1990 eruption of Redoubt Volcano, Alaska', *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- Halmer M.M., Schmincke H.-U. and Graf H.-F. (2002). 'The annual volcanic gas input into the atmosphere, in particular into the stratosphere: a global data set for the past 100 years', *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115, pp. 511–528.
- Haraden J. (1989). 'CO<sub>2</sub> production rates for geothermal energy and fossil fuels', *Energy* 14, pp. 867–873.
- Hoff R.M. and Gallant A.J. (1980). 'Sulfur dioxide emissions from La Soufriere Volcano, St. Vincent, West Indies', *Science*, 209(4459), pp. 923–924.
- INGV (2005). Information available on the web site of the Italian National Institute for Geophysics and Volcanology ([www.ingv.it](http://www.ingv.it)).
- Krueger A.J., Walter L.S., Bhartia P.K., Schnetzler C.C., Krotkov N.A., Sprod I. and Bluth G.J.S. (1995). 'Volcanic sulfur dioxide measurements from the Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) instruments', *Journal of Geophysical Research*, 100, pp. 14057–14076.
- Malinconico L.L.Jr. (1987). On the variation of SO<sub>2</sub> emissions from volcanoes, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 33, pp. 231–237.
- Mather T.A., Allen A.G., Davison B.M., Pyle D.M., Oppenheimer C. and McGonigle A.J.S. (2004). 'Nitric acid from volcanoes', *Earth and Planetary Science Letters*, 218, pp. 17–30.
- Mather T.A., Pyle D.M. and Oppenheimer C. (2003). 'Tropospheric volcanic aerosol, Volcanism and the Earth's Atmosphere', *Geophysical Monograph* 139, American Geophysical Union.
- Newhall C.G. and Self S. (1982). 'The volcanic explosivity index (VEI): An estimate of explosivity magnitude for historic volcanism', *Journal of Geophysical Research*, 87, pp. 1231–1238.
- Oppenheimer C. (2003). 'FTIR remote sensing of fractional magma degassing at Mt. Etna, Sicily'. In: *Volcanic degassing*. Oppenheimer C., Pyle D., Barclay J. (eds) Geol Soc London Spec. Publication 213.
- Pennisi M. and Le Cloarec M.-F. (1998). 'Variations of Cl, F and S in Mount Etna's plume, Italy, between 1992 and 1995', *Journal of Geophysical Research*, 103, pp. 5061–5066.
- Pyle D.M., Mather T.A., Tsanev V.I., Allen A.G., McGonigle A.J.S., Oppenheimer C., Martin R. and Sawyer G. (2005). The contribution of volcanic gas and particle fluxes to the troposphere. Poster presented at the General Assembly 2005 of the European Geosciences Union, Vienna, 24–29.4.2005..
- Schnetzler C.C., Bluth G.J.S., Krueger A.J. and Walter L.S. (1997). 'A proposed volcanic sulfur dioxide index', *Journal of Geophysical Research*, 102, pp. 20087–20091.

Simkin T. and Siebert L. (1984). 'Explosive eruptions in space and time: Durations, intervals, and a comparison of the world's active volcanic belts'. In: *Explosive Volcanism: Inception, Evaluation, and Hazards*, pp. 110–121, National Academy Press, Washington, D.C.

Watson I.M. and Oppenheimer C. (2001). 'Particle size distributions of Mount Etna's aerosol plume constrained by Sun photometry', *Journal of Geophysical Research*, 105, pp. 9823–9829.

Zreda-Gostynska G., Kyle P.R. and Finnegan D.L. (1993). 'Chlorine, fluorine, and sulfur emissions from Mount Erebus, Antarctica and estimated contributions to the Antarctic atmosphere', *Geophysical Research Letters* 20 (18), pp. 1959–1962.

## 7 Наведение справок

Все вопросы по данной главе следует направлять соответствующему руководителю (руководителям) экспертной группы по транспорту, работающей в рамках Целевой группы по инвентаризации и прогнозу выбросов. О том, как связаться с сопредседателями ЦГИПВ вы можете узнать на официальном сайте ЦГИПВ в Интернете ([www.tfeip-secretariat.org/](http://www.tfeip-secretariat.org/)).