

Н. Л. ДОБРЕЦОВ



Климат во времени и пространстве

В статье академика Н. Л. Добрецова получает развитие тема, которой посвящена публикация «Что такое катастрофы и как с ними бороться» академика В. И. Осипова. Освещены такие моменты, как неоднородность («пятнистость») проявления в пространстве и во времени природных катастроф, связанных с климатическими изменениями, и сам феномен периодических изменений климата на нашей планете. В первую очередь подобная информация необходима для понимания явления так называемого глобального потепления, которое на протяжении последних десятков лет постоянно обсуждается в средствах массовой информации

Ключевые слова: глобальное потепление, природные климатические циклы, реконструкция климата, таяние ледников, вулканизм, опустынивание, ледниковый период
Key words: global warming, natural climatic cycles, climate reconstruction, deglaciation, volcanism, desertification, glacial period

Глобальное потепление – это повышение средней температуры приземной атмосферы в среднем на градус за столетие. Известный отечественный океанолог и климатолог А. С. Саркисян так говорит об этом явлении, которое связывают с началом эры быстрого технического прогресса: «Некоторые ученые называют эту постоянно навязываемую населению страшилку “глобальной ложью XX века”. <...> Имеет место односторонняя трактовка глобального колебания климатических характеристик, которое носит циклический характер» (Саркисян, 2009, с. 161). Он также отмечает, что в обозримой истории Земли периоды потепления всегда чередовались с периодами похолодания за счет астрономических факторов. Добавим – не только астрономических. На климат планеты оказывает влияние и глобальная океаническая «конвейерная лента» течений, которая зависит от расположения высоких гор и самих континентов: относительное движение материков приводит к изменению конфигурации океанических потоков, хотя на это требуются миллионы лет.

Один из самых важных факторов вариаций климата – изменение интенсивности и характера вулканизма с периодичностью до десятков тысяч лет, в результате чего в атмосферу может попадать огромное количество парниковых газов (углекислого газа, метана и т. д.), намного превышающее выбросы промышленных предприятий и ТЭЦ (Добрецов, Коваленко, 2001; Textor *et al.*, 2004). По словам того

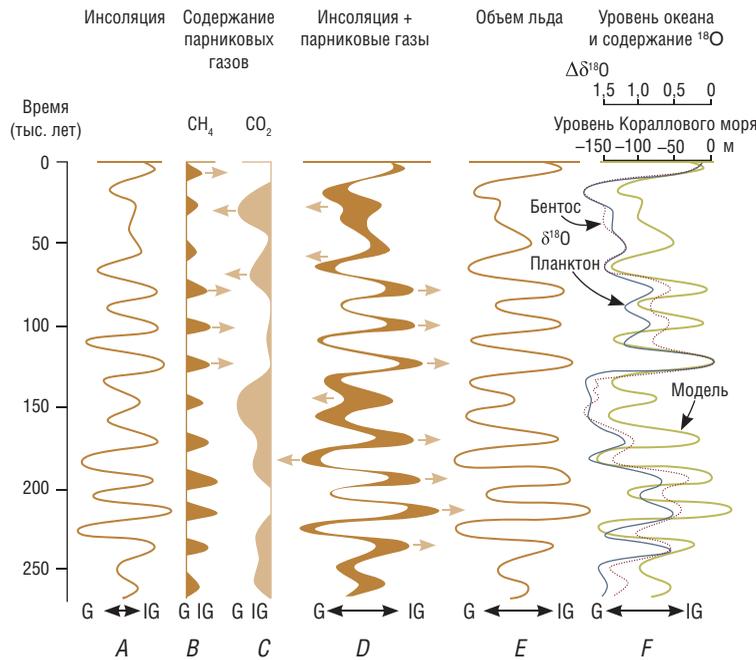


ДОБРЕЦОВ Николай Леонтьевич – академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, председатель Объединенного ученого совета наук о Земле РАН, научный руководитель Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 720 научных работ. Главный редактор журнала «НАУКА из первых рук»

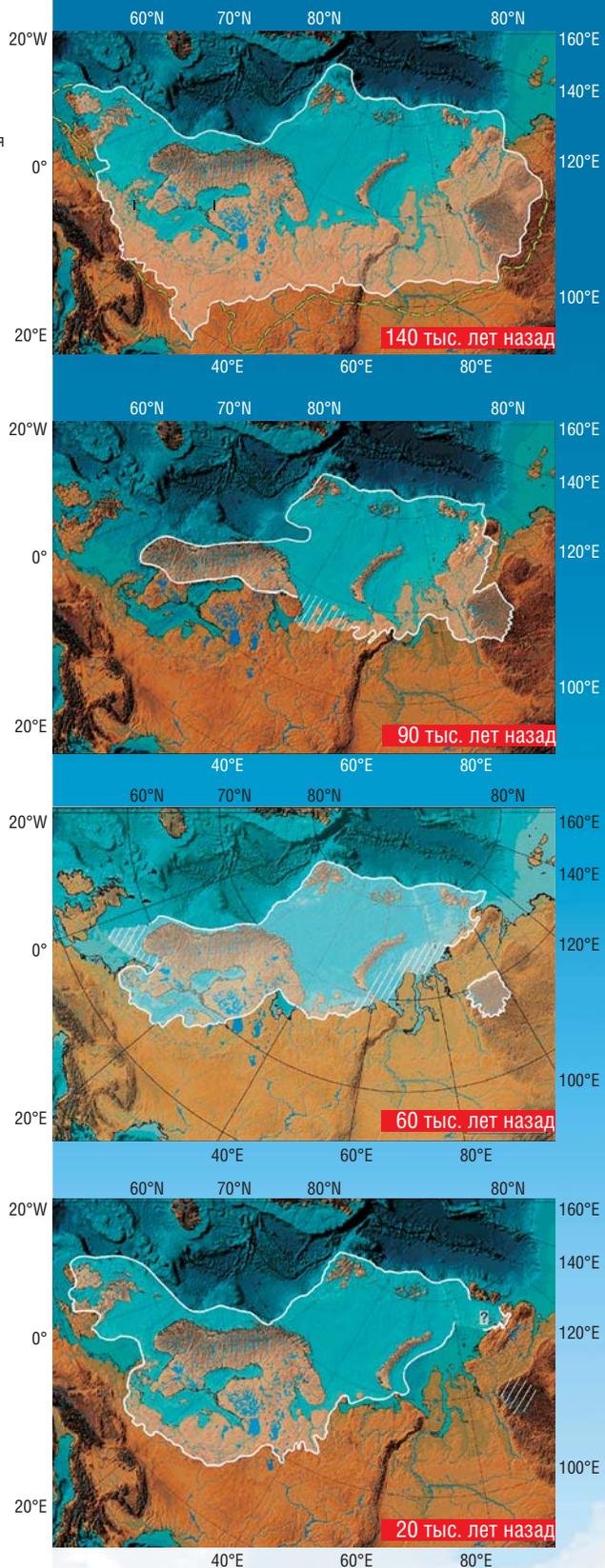
же А. С. Саркисяна (2009, с. 162), «здесь целая сумма факторов влияния, и было бы неправильно сводить все к увеличению содержания CO₂ в атмосфере за счет индустриализации».

Где-то теплеет, а где-то холодает

Наиболее ярко неоднородность изменения климата на планете за последние 150 лет проявляется в различной динамике температурных изменений в Северном и Южном полушариях. Так, в Арктике зафиксировано отчетливое потепление, в Антарктике – похолодание, за исключением западной ее части (Антарктического п-ова), где наблюдается слабое потепление (Overlemd *et al.*, 2008).



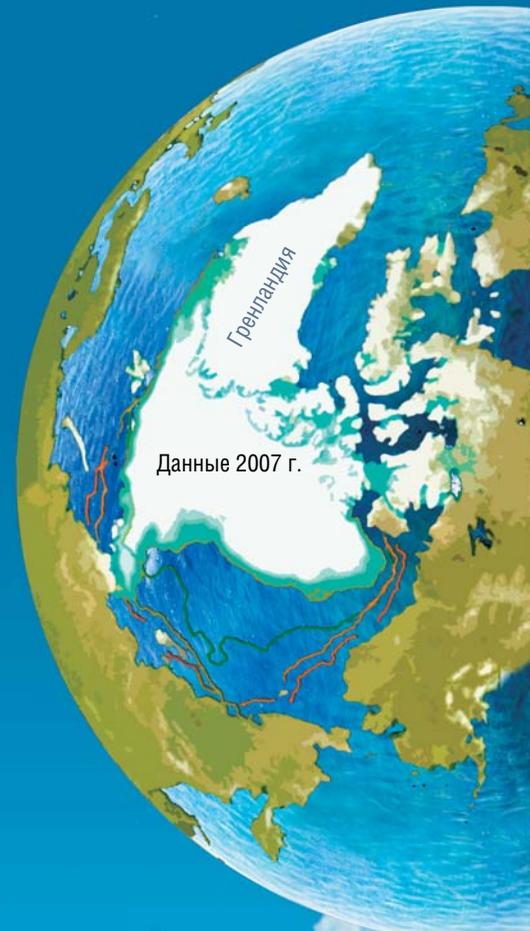
Глобальные астрономические факторы изменения климата связаны с циклами Миланковича длительностью 100, 41 и 23—19 тыс. лет (с такой периодичностью варьируют удаление Земли от Солнца, эксцентриситет орбиты Земли и угол наклона плоскости экватора). На основе этих циклов рассчитываются соответствующие вариации инсоляции на поверхность Земли (A), на которые накладываются вариации выделения основных парниковых газов (метана и углекислого газа) с периодичностью 22 и 41 тыс. лет (B и C). Суперпозиция этих кривых дает суммарную кривую D (вариации инсоляции + эффект парниковых газов) глобальных климатических изменений: от эпохи оледенения (G) до межледникового (IG). Из глобальных изменений климата однозначно вытекает изменчивость суммарного объема льда на планете (E), который бывает максимален в эпохи оледенений и минимален в межледниковые эпохи, как в настоящее время, когда материковые льды сохранились только в Гренландии и Антарктиде. На основе динамики ледового покрова была рассчитана изменчивость уровня океана (на примере Кораллового моря), а также содержания тяжелого изотопа кислорода ^{18}O в бентосных и планктонных организмах, равновесных с морской водой (доля этого изотопа в воде возрастает по мере увеличения объема льда). Реальные данные по содержанию ^{18}O , полученные при исследовании морских организмов, хорошо подтверждают рассчитанную модель, по крайней мере, до рубежа 130 тыс. лет назад (F).
 По: (Ruddiman, 2003)
 Колебания объема льда за последние 140 тыс. лет видны на примере хорошо изученного Карско-Скандинавского (Евразийского) ледника, который периодически таял и разрастался очень неравномерно (справа).
 По: (Svendsen et al., 2004)



Другой показательный пример влияния территориального фактора — неоднородное таяние полярных льдов. Известно, что потепление в Арктике за последние полвека привело к сокращению поля постоянных (наковых) льдов почти в два раза. Этот процесс наиболее ярко выражен в зоне влияния теплого течения Гольфстрим, однако практически не заметен на восточной Аляске, в районе Баффиновой Земли и Северной Гренландии, где усилилось холодное течение Дрейка.

По-видимому, главная причина неодинакового повышения температуры на континентах связана с Мировым океаном, где постоянный круговорот воды осуществляет медленный теплоперенос. В Южном полушарии в основном преобладают холодные течения, которые компенсируют эффект потепления: отбирая часть избыточного тепла, они отдают его по ходу потока в северных приполярных областях.

Глобальное потепление приводит к постепенному плавлению «вечных» арктических льдов. Общая площадь северной полярной шапки сократилась почти вдвое, граница постоянного льда отступает, но отнюдь не везде: более чем на трети длины ледового контура таяние не прогрессирует (справа). Область максимального усиления фотосинтетической активности за последние годы примыкает непосредственно к границе тающих льдов. За ней следует зона опустынивания, где уменьшается плотность растительного покрова (внизу).
 По: (Eos, 2007; Eos, 2008)



Границы арктической полярной шапки в сентябре:

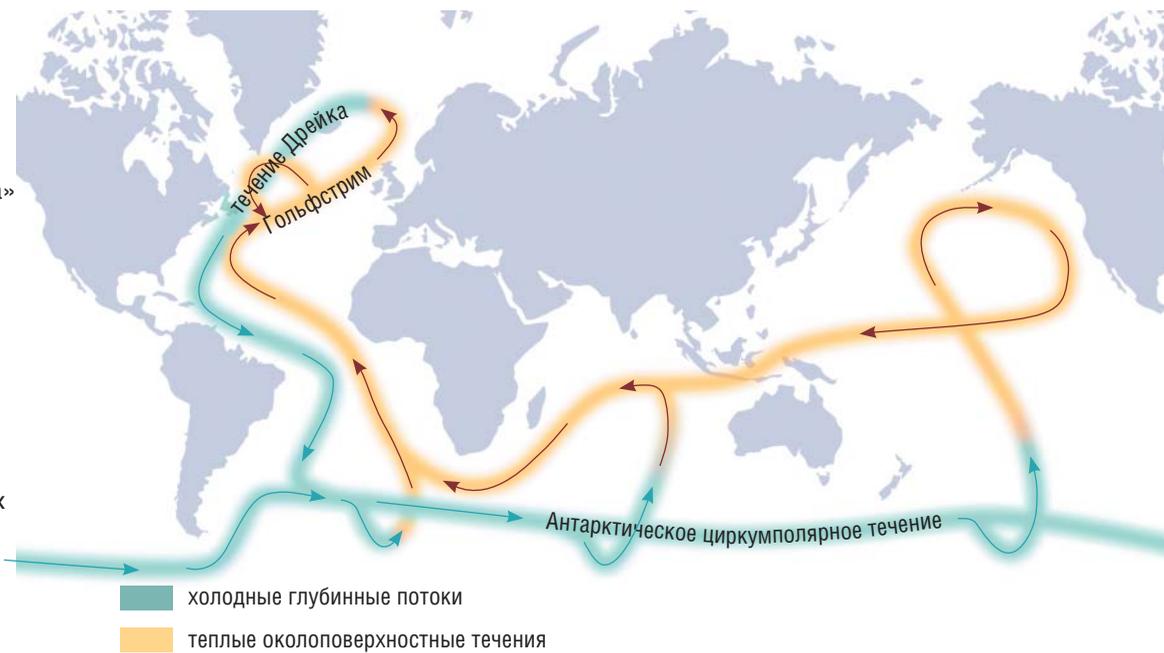
- 1958—2000 (усред.)
- 1979—2000 (усред.)
- 2005

Временной тренд индекса весенне-летней фотосинтетической активности (усредненный за 1981—2005 гг.):

- положительный
- отрицательный
- зоны опустынивания



Межрегиональный тепломассообмен в Мировом океане осуществляет глобальная океаническая «конвейерная лента» течений. Теплые поверхностные воды движутся из тропиков Тихого океана до Норвежского моря. Там они охлаждаются, опускаются и уже в виде глубинных потоков прохладных вод возвращаются в Тихий океан.
По: (Саркисян, Математические модели..., 1980)



Важно отметить, что при помощи одних только наблюдений (включая спутниковые) за температурой и скоростью поверхностных потоков невозможно оценить изменения климатических характеристик океана в целом, так как требуемые вычисления крайне сложны. Поэтому при обработке натуральных данных можно получить в лучшем случае качественную картину (Саркисян, 2009).

Есть и другие очевидные проявления контрастной «пятнистости» изменения климата. Так, в полосе, примыкающей к области максимального таяния арктических льдов, последние десятилетия наблюдается значительный рост фотосинтетической активности растений, но к югу от нее пятнами выделяются огромные области максимального опустынивания.

Климатические качели

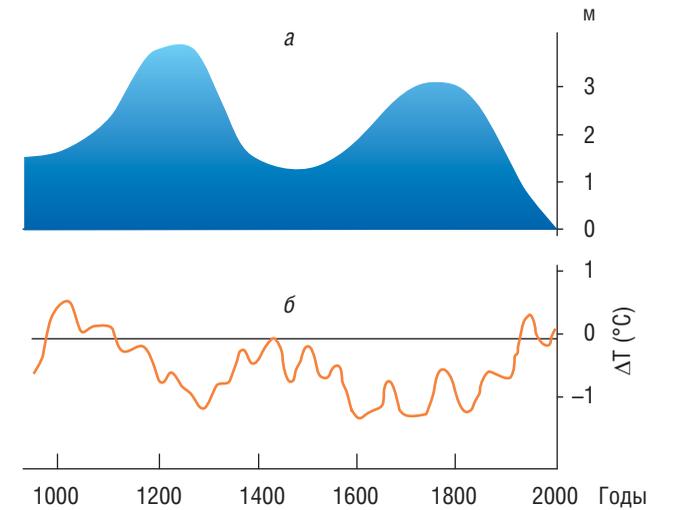
Для анализа современных изменений климата наибольший интерес представляют данные, относящиеся к голоцену (т.е. за последние 12 тыс. лет) и историческому времени – за последние 2–3 тыс. лет.

Методов реконструкции древних климатических условий существует множество. Для этих целей используются, например, измерения ширины годовых колец деревьев, исследования изотопного состава и количества пыльцы растений в кернах из приполярных и высокогорных ледников, состава фауны и флоры из озерных и пещерных отложений и т.д.

Сопоставляя результаты различных исследований, можно сделать важные выводы о ходе и характере климатических изменений на огромных территориях и за значительные периоды времени. Все полученные данные свидетельствуют об одном: и региональный, и глобальный климат в течение прошедших тысячелетий значительно менялся, при этом среднегодовые колебания температуры в отдельных регионах достигали нескольких градусов.

По результатам химического анализа осадков оз. Телецкое построен график колебаний среднегодовой температуры на протяжении 3 тыс. лет (Калугин и др., 2009). Визуально отмечено сходство участка температурного профиля за последние четыре столетия и пятивекового интервала с центром в начале современного летоисчисления (250 г. до н.э. – 250 г. н.э.), что может быть обусловлено циклическим повторением неких процессов, влияющих на климат.

Корреляционный анализ подтверждает гипотезу о периодичности многовекового хода температур, поэтому наложение усредненной кривой древнеримского времени на современный период позволяет спрогнозировать характер изменения климата в ближайшее столетие. При такой экстраполяции выходит, что среднегодовой максимум глобальной температуры будет достигнут



Колебания уровня воды в бессточном оз. Чаны в Западной Сибири (а) находятся в противофазе с температурной динамикой в Евразийской субарктической зоне (б). За нулевую отметку принят уровень озера на 1972 г.
По: (Shnitnikov, 1982; Tarasov, 1995; Naurzbaev et al., 2003 и др.)

к середине XXI в., после чего ожидается устойчивое похолодание, которое погрузит Землю в новый ледниковый период.

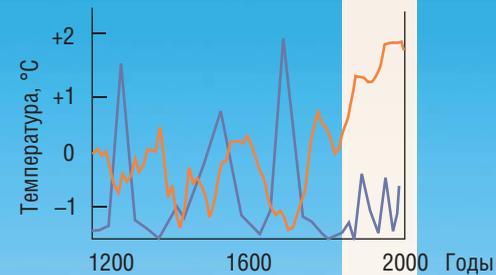
Вряд ли можно отнести к техногенному влиянию тот факт, что в донных осадках Телецкого озера, датированных разными, хотя и близкими, годами глубокой древности, было обнаружено существенно различное количество серы. Очевидно, что максимумы концентрации сульфатов отражают периоды запыленности атмосферы вулканическими выбросами. Это подтверждается также соответствующими всплесками содержания магния и кальция в ледниках горы Белуха, находящейся в том же регионе (Oliver et al., 2006).

Нарастание числа пыльных бурь как следствие процесса опустынивания в Алтайском регионе России и Монголии тоже совпадает с максимумом вулканической активности (Zykin, 2003). Следует отметить, что содержание пыли в воздухе во многом зависит от атмосферных осадков. Это важнейший показатель климата, который связан с температурой, хотя и не однозначно.

Так, колебания уровня воды в оз. Чаны (крупнейшем бессточном озере Западной Сибири) определяются преимущественно объемом выпадающих осадков – дождя и снега. При этом периоды главных экстремумов на кривой уровня находятся в противофазе с температурной динамикой в Евразийской субарктической зоне: годы высокой воды в озере приблизительно соответствуют температурным минимумам. В настоящее время уровень Чанов опустился ниже тысячелетнего минимума и продолжает снижаться (Tarasov, 1995).



Реконструкция по изотопному составу ледовых кернов горы Белуха и содержание створок диатомовых водорослей в осадках оз. Телецкое (Алтай)



Экстремумы температурных колебаний в разных регионах Северного полушария Земли совпадают, хотя при получении этих результатов использовались различные методики. Все эти данные свидетельствуют о глобальном потеплении, которое началось примерно полтора столетия назад.
По: (Калугин и др., 2009; Naurzbaev, Vaganov, 2000; Папина и др., 2011)



Перспективная линия тренда, вычисленная как смещение плавающего среднего, свидетельствует о том, что максимум температуры будет достигнут около 2050 г. Позже наступит устойчивое похолодание и «сползание» к новому ледниковому периоду. Реконструкция температурных изменений выполнена на основе изучения донных осадков оз. Телецкое (Алтай).
По: (Калугин и др., 2009)

Огромный массив накопленных данных об изменениях климата от глубокой древности до наших дней, с примерами которых мы познакомились, позволяет сформулировать два важных вывода. Во-первых, пресловутая «страшилка» о глобальном потеплении сильно преувеличена, так как, возможно, уже к середине XXI в. потепление должно смениться похолоданием. Точность этого прогноза пока недостаточна, однако в любом случае естественный (природный) тепловой вклад в планетный климатический цикл неизмеримо больше, чем техногенный. Во-вторых, для многих регионов более важен даже не глобальный тренд температуры, а локальные природные изменения, которые позволят лучше предсказывать нежелательные явления природы, связанные с изменениями климата в макрорегионе.

В заключение следует упомянуть о значении орбитального мониторинга для оценки природных изменений и назревающих катастроф. С помощью спутников можно отслеживать снегопады и мощность снежного покрова, таким образом предсказывая уровень паводка и возможные заторные наводнения. Кроме того, накоплен опыт регистрации пожаров по спутниковым снимкам и разработаны схемы повышения надежности оценки сезонной пожароопасности в рискованных регионах.

Несколько подобных работ уже успешно ведутся в научных учреждениях СО РАН: Институте водных и экологических проблем (Барнаул), Институте леса (Красноярск) и др.

Литература

Глобальные изменения природной среды – 2001 / Ред. Н. Л. Добрецов, В. И. Коваленко. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. 373 с.

Калугин И. А., Дарьин А. В., Бабич В. В. 3000-летняя реконструкция среднегодовых температур Алтайского региона по литолого-геохимическим индикаторам донных осадков оз. Телецкое // Докл. РАН. 2009. Т. 426, № 4. С. 520–522.

Котляков В. М. Прошлое и будущее окружающей среды – свидетельствует гляциология // Наука в России. 2001. № 1. С. 107–111.

Малыгина Н. С., Папина Т. С., Швиговски М. Реконструкция поступления оксидов серы в атмосферу по данным ледникового ядра седловины г. Белуха // Лед и снег, 2010. № 2 (110). С. 29–34.

Математические модели циркуляции в океане / Г. И. Марчук, В. П. Кочергин, А. С. Саркисян и др. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1980.

Папина Т. С., Малыгина Н. С., Митрофанова Е. Ю. Сравнение реконструкций изменения температуры на Алтае за последние 750 лет по данным г. Белуха и данным осадкам Телецкого озера // Лед и снег. 2011. № 5 (113).

Саркисян А. С. Моделирование изменения климатических характеристик океанов // Наука и человечество. XXI век: Сб. М.: Фонд «Знание» им. С. И. Вавилова, 2009. Вып. 1. 327 с.

Bradley R. S., Briffa K. R., Cole J., Hughes M. K., Osborn, T. J. The climate of the last millennium // Paleoclimate, Global Change and the Future / K. D. Alverson, R. S. Bradley, T. F. Pedersen (Eds.). Springer Verlag, Berlin, 2003. P. 105–141.

Olivier S., Blaser C., Brüttsch S., Frolova N., Gäggeler H. W., Henderson K. A., Palmer A. S., Papina T., Schwikowski M. Temporal variations of mineral dust, biogenic tracers and anthropogenic species during the past two centuries from Belukha ice core, Siberian Altai // J. Geophys. Res. Atmos. 2006. V. 111. D05309, doi:10.1029/2005JD005830.

Textor C., Graf H.-F., Timmreck C., Robock A. Emissions from volcanoes // Emissions of Atmospheric Trace Compounds, Series: Advances in Global Change Research, Vol. 18, Chapt. 7 / C. Cranier, P. Artaxo, C. Reeves (Eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. P. 269–303.