

Взаимосвязи изменений стратосферного вулканического аэрозоля с циркуляцией атмосферы Северного полушария, колебаниями арктических льдов, скорости вращения Земли и температур воздуха (XIX–XX вв.)

В работе [9] рассмотрены сведения об 11-ти наиболее крупных вулканических извержениях взрывного типа 1850–1990 гг., а также вычисленных для них полушарных и глобальных оптических толщинах стратосферного аэрозоля. Были исследованы извержения вулканов: Котопахи (Эквадор, 1864 г.); Кракатау (Индонезия, 1883 г.); группа нескольких вулканов (около 1885 г.); Санта Мария (Гватемала, 1902 г.); Катмай (Аляска, 1912 г.); Агунг (Индонезия, 1963 г.); Аву (Индонезия, 1966 г.); Фернандина (Галапагосские о-ва, 1968 г.); Эль-Чичон (Мексика, 1982 г.); Пинатубо (Филиппины, 1991 г.). Наиболее активными оказались извержения вулканов Кракатау 1883 и Пинатубо 1991.

На рис. 1 В приведены перечисленные извержения вулканов и расчётные оптические толщины стратосферного аэрозоля (при $\lambda = 0.55$ мкм) [9]. 1 – глобальные значения, 2 – Северное полушарие, 3 – Южное полушарие.

Эти сведения были сопоставлены с элементарными циркуляционными механизмами (ЭЦМ) и циркуляционными эпохами Северного полушария в соответствии с [5–7], изменениями морских арктических льдов [2, 3] и ледников [4], а также концентрацией в атмосфере вулканического сульфатного аэрозоля SO_4^{2-} в зависимости от вариаций скорости вращения Земли и глобальных температур воздуха [1, 7, 8, 10, 11] (см. рис. 1, 2).

На рис. 1 А показаны границы циркуляционных эпох Северного полушария по [5]. В соответствии с ними на рис. 1 и 2 серым тоном выделены колонки двух эпох зональной циркуляции 1864–1882 и 1916–1956 гг., в течение которых меньше всего наблюдались крупные вулканические извержения (рис. 1 В). В эти эпохи из зональной группы ЭЦМ действовали чисто зональные и ЭЦМ с нарушением зональности в одном из секторов (ЭЦМ 1, 2; ЭЦМ 3–7). Характеризуются эти макропроцессы кольцом, или «полукольцом» циклонов вокруг области высокого давления у полюса и двумя-тремя выходами южных циклонов [6].

¹ Геологический институт РАН (ГИН РАН), Москва, Россия; zakharov_vg@mail.ru

² Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия; sidorenkov@mecon.ru

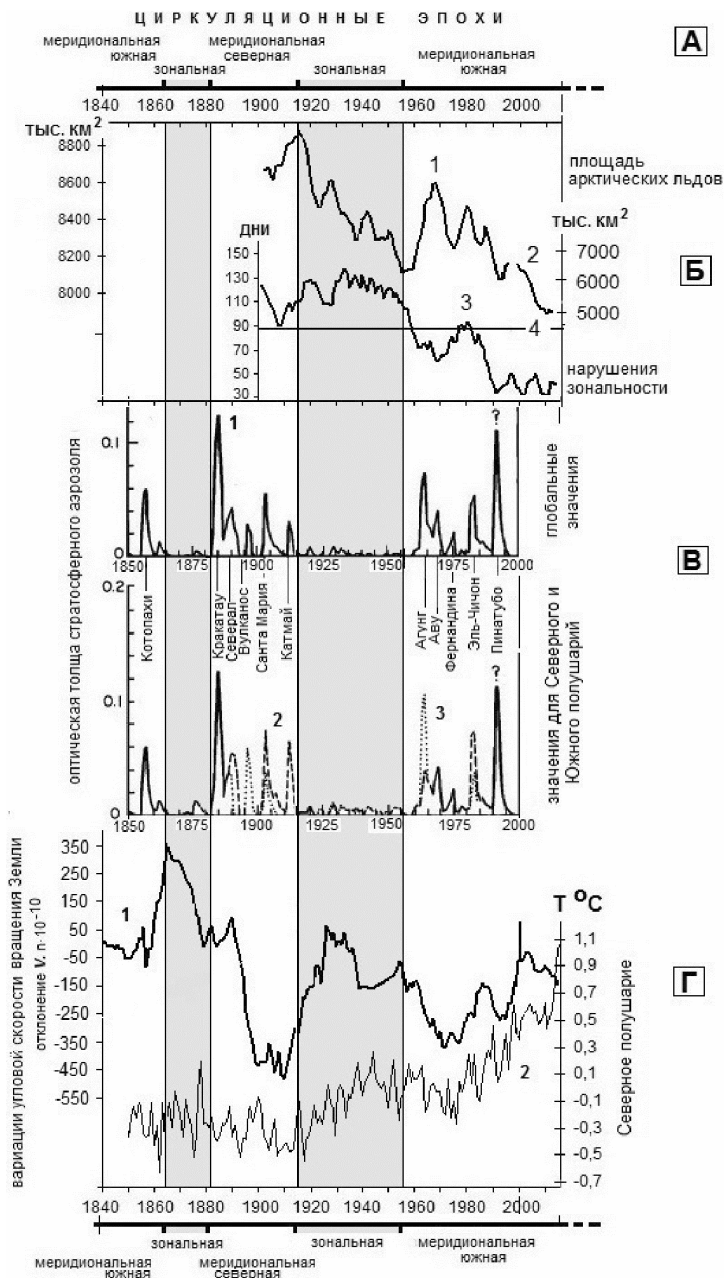


Рис. 1. Крупные вулканические извержения взрывного типа и стратосферный аэрозоль 1850–1990 гг. в условиях вариаций скорости вращения Земли, динамики ледовых, климатических и атмосферных процессов Северного полушария XIX–XXI вв.

А. Границы циркуляционных эпох Северного полушария [5–7].

Б. 1 – изменения площади арктических льдов в 1900–1996 гг. (тыс. км²) [3], 2 – площадь льдов в 1981–2010 гг. по данным NSIDC (http://nsidc.org/data/seaice_index/index.html), 5 – летние скользящие средние; 3 – продолжительность действия элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) группы нарушения зональности в днях [6], 4 – средние значения продолжительности действия группы.

В. Крупные вулканические извержения взрывного типа и расчётные оптические толщины стратосферного аэрозоля (при $\lambda = 0.55$ мкм). 1 – глобальные значения, 2 – Северное полушарие, 3 – Южное полушарие [9].

Г. 1 – вариации угловой скорости вращения Земли (отклонение V . н 10^{-10}) [8]; 2 – аномалии температур воздуха Северного полушария воздуха [7]

На рис. 1 Б сопоставлены изменения площади морских арктических льдов (1) по [3] и продолжительности действия ЭЦМ с нарушением зональности (2) [6, 7]. Из рисунка следует: при росте продолжительности действия ЭЦМ группы, особенно при максимумах зональной эпохи в 1924–1940 гг., происходило самое заметное для первой половины XX столетия сокращение арктических льдов. Коэффициент корреляции связи льды – ЭЦМ 3–7 составил 0,70. В это время происходило сближение азорского максимума и исландского минимума, усилившее зональную циркуляцию и потепление климата Северного полушария [4]. К причинам значительного сокращения арктических льдов в зональные эпоху 1916–1956 гг. следует отнести и усиление таяния в связи с активизацией южных циклонов, а также наиболее прозрачной атмосферой при малых значениях оптических толщин стратосферного аэрозоля незначительных вулканических извержений.

Для зональной эпохи 1864–1882 гг. сопоставление изменений морских льдов и циркуляционных условий в Арктике проводилось по продолжительности блокирования паковыми арктическими льдами берегов Исландии и повторяемости ветров южного и западного направлений у юго-восточного побережья Англии [2, 4]. Анализ показал, в это время, как и в зональную эпоху 1916–1956 гг., происходило сокращение арктических льдов при усилении южных ветров и таяния в условиях малых оптических толщин стратосферного аэрозоля незначительных вулканических извержений.

На рис. 1 Г представлены кривые вариаций скорости вращения Земли (1) [8] и температур воздуха Северного полушария (2) [7]. Из рисунка видно: в эпохи зональной циркуляции наблюдался схожий характер заметного возрастания угловой скорости вращения Земли и температур

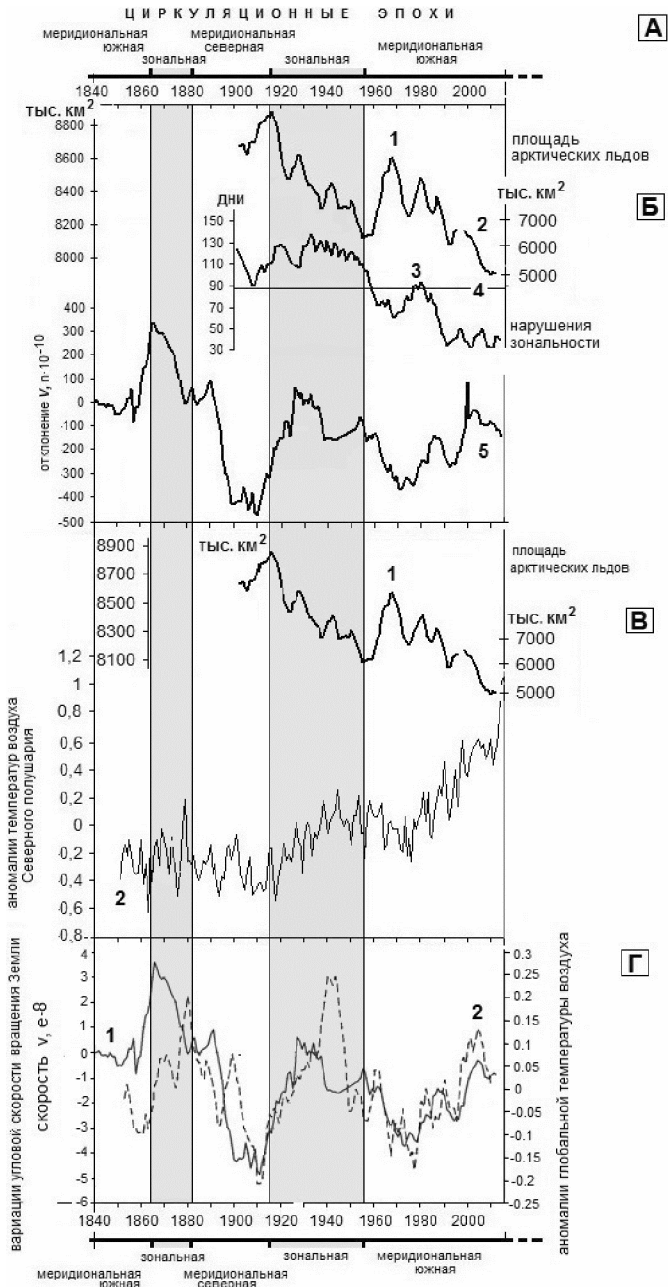


Рис. 2. Изменения площади морских арктических льдов, вариации скорости вращения Земли и аномалий температур воздуха в циркуляционные эпохи Северного полушария XIX–XXI вв.

А. Границы циркуляционных эпох Северного полушария [5–7].

Б. 1 – изменения площади арктических льдов в 1900–1996 гг. (тыс. км²) [3], 2 – площади льдов в 1981–2010 гг. по данным NSIDC (http://nsidc.org/data/seaice_index/index.html), 5 – летние скользящие средние; 3 – продолжительность действия элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) группы нарушения зональности в днях [6], 4 – средние значения продолжительности действия группы; 5 – вариации угловой скорости вращения Земли (отклонение V . н 10^{-10}) [8].

В. 1 – изменения площади арктических льдов (тыс. км²) [3]; 2 – аномалии температур воздуха Северного полушария воздуха [7].

Г. 1 – вариации угловой скорости вращения Земли (отклонение V . н 10^{-10}); 2 – скользящие средние за пять лет глобальные аномалии температуры воздуха [8]

воздуха с проявлением некоторой контрфазности во второй половине эпох. Эти особенности хорошо подтверждаются рис. 2 Г при сопоставлении колебаний скорости вращения Земли и глобальной температуры воздуха. Коэффициент корреляции рассматриваемых характеристик $r = 0.67$ [8, 10].

Из сопоставления рис. 1 Б, В, Г и 2 Б, В, Г следует: наиболее крупные вулканические извержения совпадали с эпохами меридиональной северной (Мс) и меридиональной южной (Мю) циркуляций и характеризовались высокими оптическими толщинами стратосферного аэрозоля (СА) крупных вулканических извержений взрывного типа. Сопровождались извержения снижением скорости вращения Земли, глобальных температур воздуха и, соответственно, увеличением площади арктических льдов, а также ледников. Хронологию событий вулканических извержений и циркуляционных эпох Северного полушария (с учетом более ранних границ эпох по [5]) можно представить следующим образом: 1) Мю 1835–1863 гг. – крупные извержения с высокими оптическими толщинами СА; 2) Зональная 1864–1882 гг. – незначительные извержения с низкими оптическими толщинами СА; 3) Мс 1883–1915 гг. – крупные извержения с высокими оптическими толщинами СА; 4) Зональная 1916–1956 гг. – незначительные извержения с низкими оптическими толщинами СА; 5) Мю 1957–2000-е гг. – крупные извержения с высокими оптическими толщинами СА.

На рассматриваемом отрезке времени 1840–2000-е гг. в меридиональную северную эпоху 1883–1916 гг. площади арктических льдов в среднем были больше, а вариации скорости вращения Земли и температур воздуха значительно ниже, чем в меридиональную южную эпоху 1957–2000-е гг. Это обусловлено отличительными особенностями ме-

ридиональных северных и южных ЭЦМ. При меридиональных северных ЭЦМ из района полюсного антициклона осуществляются два-четыре холодных арктических вторжения (блокировки) из высоких широт при двух-четырёх прорывах южных циклонов (ЭЦМ 8–12) [6]. Меридиональная южная циркуляция не имеет блокировок. Характеризуется циклонической циркуляцией над Арктикой и развитием циклонической деятельности на арктическом фронте с регенерацией на нем приходящих с юга глубоких циклонов [6].

Таким образом, на протяжении 150–170 последних лет:

1. Периоды высоких значений оптических толщин глобального стратосферного аэрозоля крупных вулканических извержений взрывного типа и уменьшения прозрачности атмосферы, соответствовали периодам снижения скорости вращения Земли, глобальных температур воздуха и продолжительности действия ЭЦМ зональных групп циркуляции атмосферы. Одновременно возрастала площадь арктических льдов и ледников, а также продолжительность действия ЭЦМ меридиональных групп атмосферной циркуляции. Выявлено: рассмотренные взаимосвязи в лучшей мере проявились в границах трёх эпох меридиональной циркуляции Северного полушария XIX–XXI вв., которые по [6, 7] лежат в пределах меридиональной южной 1835–1863, меридиональной северной 1883–1915 и меридиональной южной 1957–2000-е гг.

2. Периоды низких значений оптических толщин стратосферного аэрозоля незначительных извержений вулканов и улучшения прозрачности атмосферы, соответствовали периодам снижения скорости вращения Земли, повышению температур воздуха и продолжительности действия ЭЦМ зональных групп циркуляции атмосферы. В этих условиях потепления происходило наиболее быстрое для первой половины XX столетия сокращение арктических льдов и ледников с интенсивным таянием за счет улучшения прозрачности атмосферы при малых оптических толщинах стратосферного аэрозоля. Рассмотренные взаимосвязи отчётливо проявились в границах двух эпох зональной циркуляции Северного полушария. В соответствии с [5, 6] это 1864–1882 и 1916–1956 гг.

3. На основании анализа выявленных природных взаимосвязей можно заключить: на протяжении пяти эпох атмосферной циркуляции Северного полушария XIX–XXI вв. соотношение характеристик оптических толщин вулканического стратосферного аэрозоля, состояния арктических льдов и ледников, вариаций скорости вращения Земли и температур воздуха носило схожий характер в границах однотипных по характеру эпох. Это однозначно проявилось в течение трёх меридио-

нальных и двух зональных циркуляционных эпох. Таким образом, по характеру чередующихся меридиональных и зональных эпох циркуляции атмосферы Северного полушария, динамике арктических льдов, вариациям скорости вращения Земли и климата можно на качественном уровне судить об изменениях состояния сульфатного стратосферного аэрозоля от эпохи к эпохе. Установлено: в меридиональные эпохи оптические толщины и концентрации сульфатного стратосферного аэрозоля значительно выше, чем в зональные. Однако, взаимосвязи анализируемых характеристик в зональные эпохи 1864–1882 и 1916–1956 гг. проявились наиболее четко.

Литература

1. Борзенкова И.И., Жильцова Е.Л., Лобанов В.А. Вариации климата внетропической зоны причин Северного полушария в последние 1000 лет: анализ данных и возможных причин // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. М.: Планета, 2011. С. 131–152.
2. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1988. С. 59–67.
3. Захаров В.Ф. Изменение состояния морских арктических льдов // Формирование и динамика современного климата Арктики. СПб.: Гидрометеиздат, 2004. С. 112–135.
4. Захаров В.Г. Особенности колебаний ледников Приатлантической Арктики (конец XIX – начало XXI вв.) // Сложные системы. М.: МГУ, 2014. № 4(13). С. 33–45.
5. Кононова Н.К. Циркуляционные характеристики климатических экстремумов. Палеоклиматы позднеледниковья и голоцена. М.: Наука, 1989. С. 22–29.
6. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. М.: Воентехиниздат, 2009. 372 с.
7. Кононова Н.К. Типы глобальной циркуляции атмосферы: результаты мониторинга и ретроспективной оценки за 1899–2017 гг. // Фундаментальная и прикладная климатология. № 3. 2017. С. 108–123.
8. Сидоренков Н.С. Небесно-механические причины изменений погоды и климата // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14. № 3. С. 5–26.
9. Makiko Sato, James E. Hansen, M. Patrick McCormick, James B. Pollack. Stratospheric Aerosol Optical Depths, 1850–1990 // J. Geophys. Res. 1993. Vol. 98. N. D12. P. 22987–22994.
10. Sidorenkov N.S., Zhigailo T.S. Geophysical effects of the Earth's monthly motion // Odessa Astronomical Publications. 2013. Vol. 26. N/2. P. 285–287.
11. Sidorenkov N.S., Ian Wilson. Influence of solar retrograde motion on terrestrial processes // Odessa Astronomical Publications. 2017. Vol. 30. P. 246–249.