

**ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ VII.63.  
ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ  
И НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ, МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, ПРОБЛЕМЫ КРИОСФЕРЫ**

**Программа VII.63.1. Природно-климатические изменения и их последствия  
для Сибири в современных условиях глобального потепления и антропогенных  
воздействий (координатор член-корр. РАН М. В. Кабанов)**

Учеными Института мониторинга климатических и экологических систем проведены наблюдения за состоянием приземного слоя в предгрозовой атмосфере. В результате мониторинга установлено, что в электрическом поле за несколько часов до прохождения мощной конвективной ячейки над пунктом наблюдения возникают квазипериодические колебания с периодами от 15 мин до 2 ч и более (рис. 31). Полученный результат указывает на то, что подготовка грозы происходит по закономерному сценарию, определяемому развитием мезомасштабных конвективных систем. При этом сценарии развития гроз четко различаются для

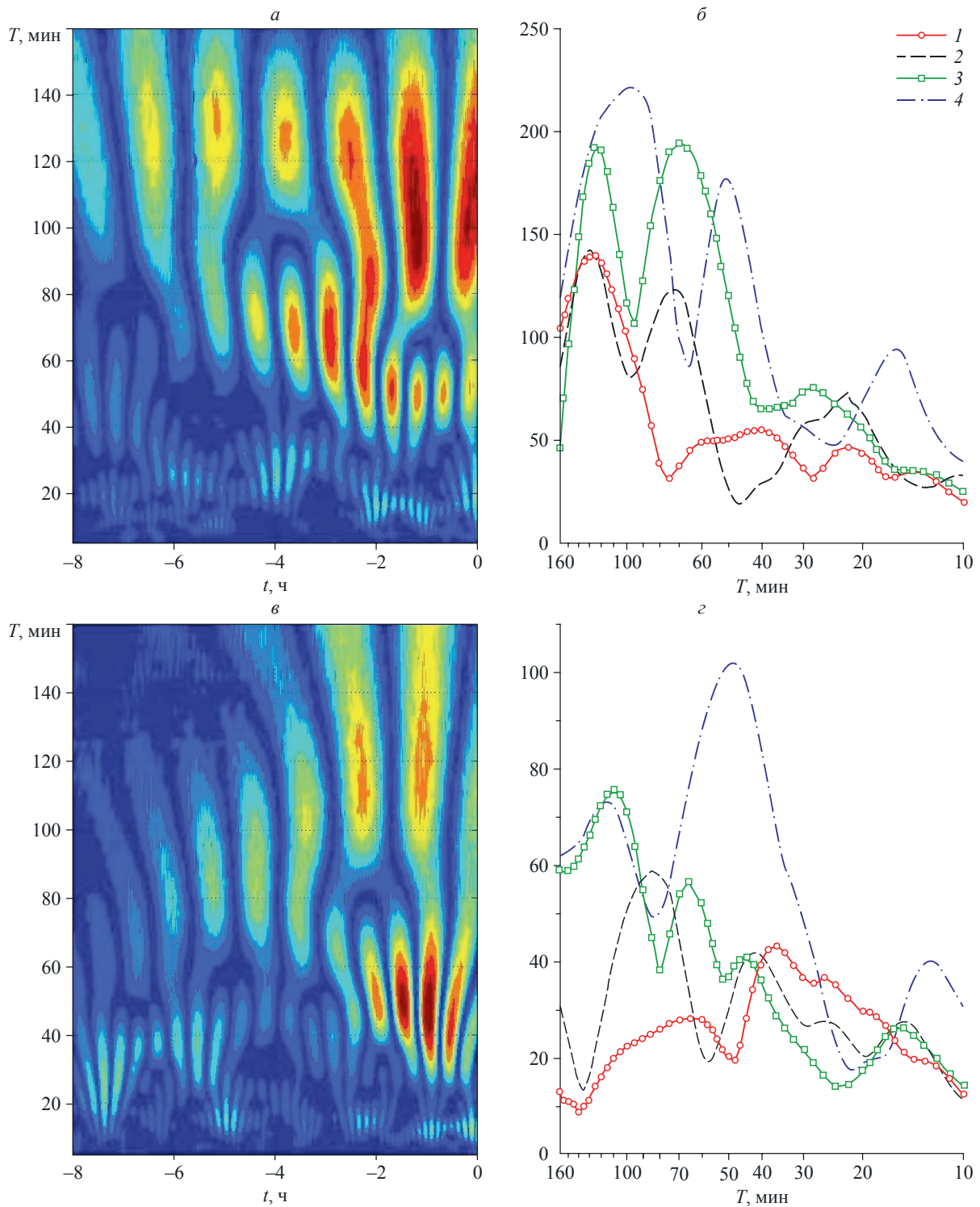
дневных и ночных условий. Важную роль в этом процессе играет возбуждение акустико-гравитационных волн, которые могут являться той вынуждающей внешней силой, которая ответственна за процессы самоорганизации мезомасштабных конвективных систем.

Сотрудниками этого же Института выполнен совместный учет изменчивости элементов радиационного баланса и индексов глобальной циркуляции, что позволяет описать до 65 % дисперсии температурного поля азиатской территории России (АТР). Среди элементов радиационного баланса наибольший вклад вносит приходящая коротковолновая радиация, а среди индексов глобальной циркуляции определяющую роль в изменении аномалий температуры АТР играют процессы блокирования западного переноса, описываемые индексом SCAND.

На изменчивость температуры на АТР преимущественно влияют составляющие радиационного баланса (табл. 1), что обусловлено большими значениями соответствующего коэффициента детерминации для территории Западной Сибири. Над территорией Восточной Сибири циркуляционные и радиационные факторы оказывают влияние на изменчивость температуры в равной степени. Для территорий Западной Сибири, Дальнего Востока и для АТР наблюдается взаимосвязь между климатическими факторами.

Таблица 1  
Среднегодовые коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) регрессионных моделей, построенных по данным за период 1979—2008 гг. и описывающих изменчивость температуры на азиатской территории России в зависимости от циркуляционных и радиационных факторов

Климатические факторы	АТР	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток
Циркуляционные	0,38	0,45	0,33	0,46
Радиационные	0,51	0,54	0,33	0,40
Циркуляционные + радиационные	0,65	0,68	0,63	0,63



**Рис. 31.** Модули средних вейвлет-спектрограмм электрического поля до прохождения грозы ( $a$  — для дневных гроз,  $v$  — для ночных гроз) и вейвлет-спектры, усредненные на двухчасовых интервалах ( $б$  — для дневных гроз,  $z$  — для ночных гроз).

Интервал усреднения, часов до прохождения конвективных ячеек: 8—6 (1), 6—4 (2), 4—2 (3), 2—0 (4).

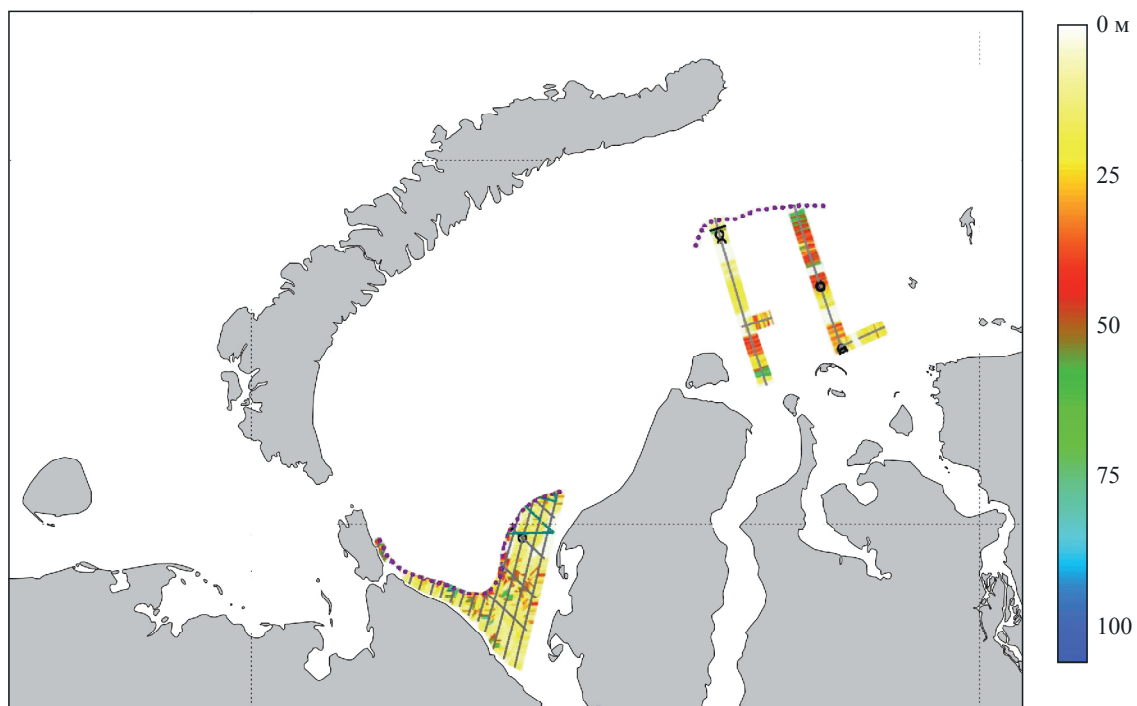
### Программа VII.63.2. Природные и техногенные системы в криосфере Земли и их взаимодействие (координатор акад. В. П. Мельников)

Учеными Института криосферы Земли на основе интерпретации профилей высокоразрешающей сейсмоакустики впервые составлена достоверная карта распространения шельфовой мерзлоты и найдена ее внешняя граница в Карском море (рис. 32). Установлены закономерности распределения глубины залегания субаквальной мерзлоты, на основе их анализа выделены предположительные участки быстро деградирующей и квазиравновесной мерзлоты на шельфе.

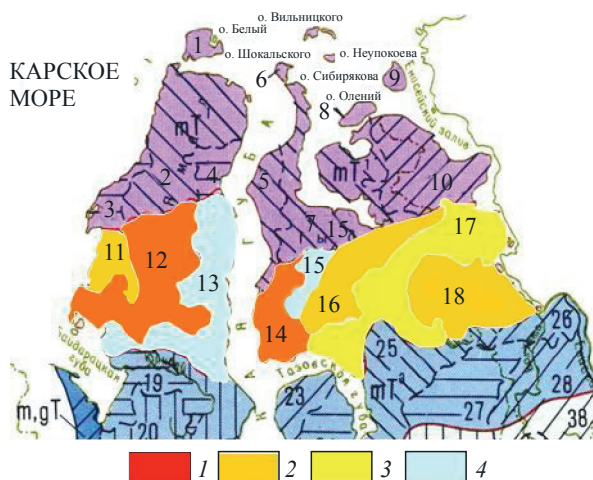
В этом же Институте выполнена оценка роли криогенных оползней скольжения в эволюции тундровых ландшафтов Западной Сибири. Показано, что в результате активизации оползневых процессов и рассоления морских многолетнемерзлых пород в подзоне типичных тундр происходит обогащение растений, почв, пород и вод многими химическими элементами, что служит причиной аномально высокого биоразнообразия и биопродуктивности, сме-

щения к северу ареалов высокоствольных кустарников. Установлено, что оползневые процессы постепенно продвигаются на север (из южных тундр в арктические) (рис. 33). Это может свидетельствовать о потеплении климата Арктики. Созданы карты-схемы распространения криогенных оползней на Западном Ямале (Бованенковское месторождение) и в подзоне типичных тундр Западной Сибири.

Сотрудниками Института мерзловедения им. П. И. Мельникова отмечено, что современное климатическое потепление в Арктике приводит к уменьшению абсолютной величины градиента парциального давления  $\text{CO}_2$  между морской водой и воздухом в связи с активизацией береговых криогенных процессов (рис. 34). В условиях потепления количество органического вещества, выносимого из мерзлотных пород в акваторию, существенно увеличивается. В результате его окисления потенциальная способность воды арктических морей



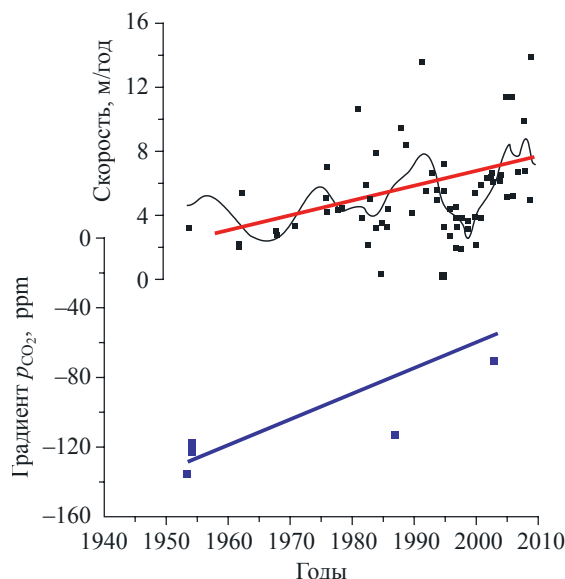
**Рис. 32.** Внешняя граница распространения шельфовой мерзлоты в западной и центральной части Карского моря. Цветом даны глубины залегания субаквальной мерзлоты (от поверхности дна).



**Рис. 33.** Оценка распространения оползневых склонов в подзоне типичных (субарктических) тундр: 1 — более 30 %; 2 — 15—30 %; 3 — 5—15 %; 4 — менее 5 %.

Ландшафтные районы: 11 — Западно-Ямальский; 12 — Центрально-Ямальский; 13 — Восточно-Ямальский; 14 — Западно-Гыданский; 15 — Северо-Гыданский; 16 — Центрально-Гыданский; 17 — Антипаюта-Танамский; 18 — Танамский.

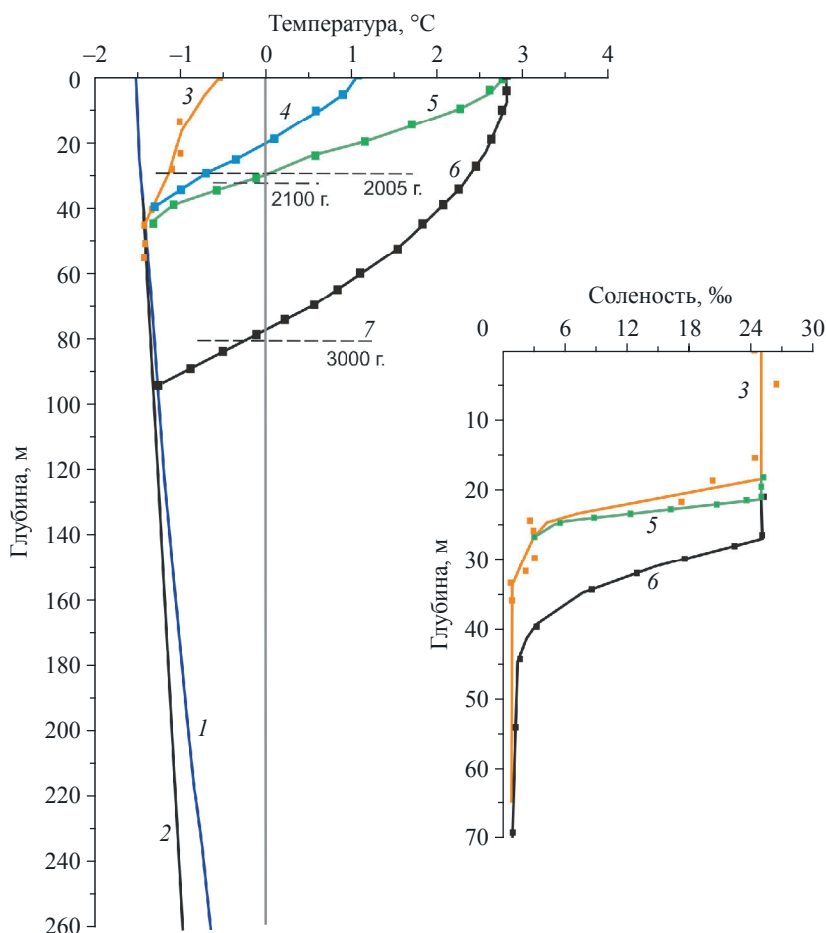
к поглощению диоксида углерода из атмосферы (инвазии) понижается и возрастает вероятность преобладания выделения газа из воды арктических морей в атмосферу (эввазии). В случае сохранения наблюдаемой тенденции углекислотно-карбонатная система морей может быть дестабилизирована, может вызвать усиление эввазии парникового газа и поддержание современного тренда потепления регионального климата. Система будет оставаться в дестабилизированном состоянии, пока тенденция климатических изменений не повернется в сторону похолодания. Вместе с тем анализ результатов термодинамического моделирования реакции системы океан—атмосфера на удвоение содержания атмосферного  $\text{CO}_2$  и данных многолетних наблюдений на полярных метеостанциях показывает, что вклад изменений концентрации атмосферного  $\text{CO}_2$  в наблюдаемое климатическое потепление составляет не более 20 %. Основное влияние оказывают другие природные факторы, связанные с изменениями глобальной циркуляции атмосферы и Мирового океана. Дестабилизация углекислотно-карбонатного равновесия, сопровождаемая



**Рис. 34.** Изменения скорости термоабляции льдистых берегов морей Сибирского сектора Арктики на ключевых участках побережья и разность между парциальными давлениями диоксида углерода в морских водах и в атмосфере. Отрицательный знак градиента указывает на инвазию газа.

потоком диоксида углерода из арктических морей в атмосферу, не является первопричиной климатических колебаний, а вызывает лишь возрастание их амплитуды.

В этом же Институте выполнен прогноз деградации субаквальной мерзлоты на арктическом шельфе Сибири до 3000 г. по экстремальному сценарию гидрологических изменений. В интервале 2005—2100 гг. среднегодовая температура придонной воды повысится от  $-0,5$  до  $2,8$  °C при постоянной среднегодовой солёности 25 ‰ (рис. 35). После 2100 г. термодинамические характеристики придонной воды останутся неизменными. С 2005 по 2100 г. кровля многолетнемерзлых толщ переместится не более чем на 2—4 м ниже ее начального положения, а к 3000 г. достигнет отметки 80—82 м ниже поверхности дна. Верхняя граница зоны стабилизации газовых гидратов на шельфе залегает на глубинах около 200 м от поверхности дна. Фронт деградации мерзлоты, по-видимому, не достигнет ее в ближайшие 3 тыс. лет даже в случае экстраполяции рассматриваемого сценария.



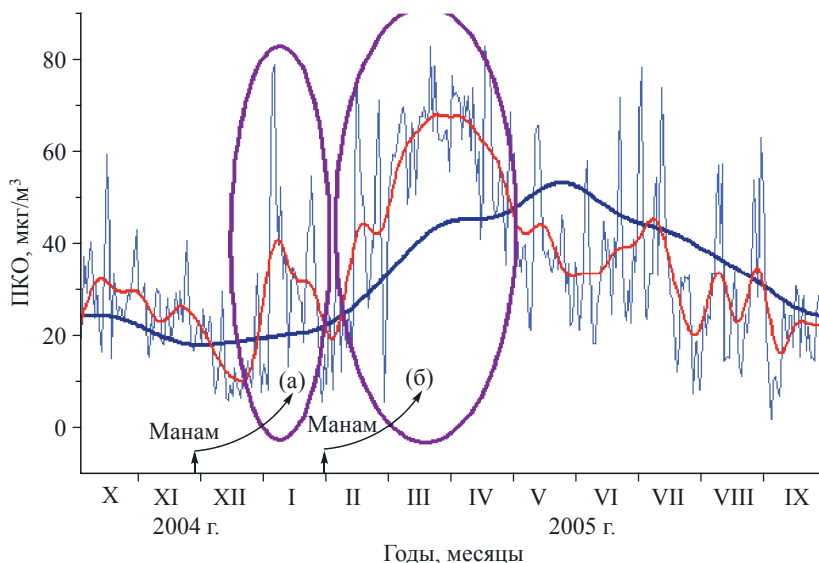
**Рис. 35.** Прогноз температуры, солёности и положения кровли подводной мерзлоты в береговой зоне моря Лаптевых по экстремальному сценарию потепления придонных вод.

Современное распределение температуры и солёности: 1 — по G. Delisle [2000], 2 — по А. И. Фартышеву [1993], 3 — по данным бурения в 2005 г. [Rachold et al., 2007]. Прогноз: 4 — на 2050 г., 5 — на 2100 г., 6 — на 3000 г., 7 — положение кровли мерзлоты от поверхности дна с указанием года. Положение кровли и распределение солёности на 2050 г. не показаны ввиду малых изменений этих характеристик в течение 45 лет.

### Программа VII.63.3. Климатические изменения в Арктике и Сибири под воздействием вулканизма (координатор член-корр. РАН В. В. Зуев)

Учеными Института мониторинга климатических и экологических систем на основе многолетних наблюдений приземных концентраций озона (ПКО) в Томске установлено, что в формировании ранневесенних (март—апрель) максимумов годового хода ПКО основную роль играют вулканогенные аэрозольные возмущения тропической стратосферы в период с сентября по февраль, стимулирующие

усиление стратосферно-тропосферного обмена из-за увеличения температурных контрастов в стратосфере между низкими и высокими широтами. Анализ длинного ряда измерений ПКО в Томске с 1992 г. по настоящее время показал, что каждому аэрозольному возмущению тропической стратосферы после мощного извержения вулкана в период с сентября по февраль соответствует всплеск ПКО относительно мно-



**Рис. 37.** Временной ряд среднесуточных значений приземных концентраций озона, зарегистрированных в Томске с октября 2004 г. по сентябрь 2005 г. (тонкая линия), результат сглаживания FFT-фильтром с окном 10 сут (жирная красная линия), многолетняя норма (жирная синяя линия). Вертикальные стрелки показывают моменты извержений тропического вулкана Манам (о. Папуа-Новая Гвинея, 24.11.2004 и 27.01.2005), продукты которых зарегистрированы в стратосфере. Фигурные стрелки указывают соответствующие области аномалий ПКО.

голетней нормы, возникающий примерно через полтора месяца после извержения. В частности, в конце ноября 2004 г. и в конце января 2005 г. было зарегистрировано два извержения вулкана Манам (о. Папуа-Новая Гвинея), продукты которых достигали стратосферных высот 18 и 24 км соответственно (рис. 36). На рисунке видно, что примерно через полтора месяца после каждого извержения в годовом ходе формируются области (а) и (б) повышенных значений ПКО относительно многолетней нормы, которые проявляются даже при сглаживании FFT-фильтром с окном 10 сут.

Появление вулканогенных аномалий ПКО связано с усилением стратосферно-тропосферного обмена (СТО), вызванного увеличением температурных контрастов в стратосфере между низкими и высокими широтами из-за радиационного перегрева внутри вулканогенных стратосферных аэрозольных слоев. При усилении СТО, особенно при прорыве тропопаузы, происходит вторжение в нижнюю тропосферу стратосферных масс воздуха, обогащенных озоном.