

УДК 614.841.2

## ИЗМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД КАМЧАТСКИМ РЕГИОНОМ В 2016–2025 ГГ. И ПРОИСХОДИВШИЕ ЗДЕСЬ В 2016–2025 ГГ. ОПАСНЫЕ ЭНДОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Хлопцев Александр Вадимович<sup>1</sup>, Шубкин Роман Геннадьевич<sup>1</sup>, Батуро Алексей Николаевич<sup>1</sup>,  
Уколов Алексей Валерьевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Аннотация.** Актуальной проблемой аэрологии, геофизики и безопасности при чрезвычайных ситуациях является выявление связей между изменениями среднесуточных значений общего содержания озона (ОСО) над Камчатским регионом, а также происходящими в нем опасными эндогенными геологическими явлениями (извержениями вулканов и землетрясениями). Такие связи могут носить причинный характер, поскольку при упомянутых явлениях происходит существенная активизация дегазации земных недр, которая приводит к увеличению потока поступающего в стратосферу водорода. Так как водород является одним из катализаторов реакций разрушения озона, рассматриваемое явление может приводить к снижению над соответствующим районом ОСО. Выдвинута гипотеза о том, что при рассматриваемых явлениях существенное снижение ОСО над некоторыми пунктами Камчатского региона происходит чаще, чем в промежутках между ними. Целью работы является ее проверка для периода 2016–2025 гг., в котором указанные явления в регионе происходили почти ежегодно. Установлено, что существенное снижение ОСО над многими пунктами региона при всех рассматриваемых явлениях наблюдалось с запаздыванием по отношению к датам их начала на несколько суток. Частоты, с которыми происходит это снижение, в периоды вулканических извержений и землетрясений значительно больше, чем в промежутках между ними. Значения этих частот повышены над районами, близкими к эпицентрам упомянутых катаклизмов. Существенные снижения ОСО над регионом в рассматриваемый период возникали и до начала изучаемых явлений.

**Ключевые слова:** Камчатский регион, общее содержание озона, опасные эндогенные геологические явления, водородная дегазация, отклик, частота

**Для цитирования:** Изменения распределения общего содержания озона над Камчатским регионом в 2016–2025 гг. и происходившие здесь в 2016–2025 гг. опасные эндогенные геологические явления / А. В. Хлопцев [и др.] // Техносферная безопасность. 2026. № 2 (51). С. 160–179.

# CHANGES IN THE DISTRIBUTION OF TOTAL OZONE CONTENT OVER THE KAMCHATKA REGION IN 2016–2025 AND DANGEROUS ENDOGENOUS GEOLOGICAL PHENOMENA THAT OCCURRED HERE IN 2016–2025

Alexander V. Khloptsev<sup>1</sup>, Roman G. Shubkin<sup>1</sup>, Alexey N. Baturo<sup>1</sup>, Alexey V. Ukolov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation

<sup>2</sup> UISFS of EMERCOM of Russia, Ekaterinburg, Russian Federation

**Abstract.** A pressing issue in aerology, geophysics, and emergency safety is identifying the links between changes in average daily total ozone (hereinafter, TO) levels over the Kamchatka region and hazardous endogenous geological events (volcanic eruptions and earthquakes) occurring there. Such links may be of a causal nature, since the mentioned phenomena cause a significant activation of the degassing of the earth's interior, which leads to an increase in the flow of hydrogen entering the stratosphere. Since hydrogen is one of the catalysts for ozone destruction reactions, the phenomenon under consideration can lead to a decrease in the OCC over the corresponding area. It is hypothesized that during the phenomena under consideration, a significant decrease in the OCC over certain locations in the Kamchatka region occurs more frequently than in the intervals between them. The purpose of this work is to test this hypothesis for the period of 2016–2025, in this region, these phenomena occurred almost every year. It was found that a significant decrease in the OSO over many locations in the region was observed several days after the onset of the phenomena. The frequency of this decrease was significantly higher during periods of volcanic eruptions and earthquakes than during the intervals between them. The values of these frequencies were higher over areas close to the epicenters of the mentioned disasters. Significant reductions in the OCC over the region occurred before the onset of the phenomena under study.

**Keywords:** Kamchatka region, total ozone content, hazardous endogenous geological phenomena, hydrogen degassing, response, frequency

**For citation:** Changes in the distribution of total ozone content over the Kamchatka region in 2016–2025 and dangerous endogenous geological phenomena that occurred here in 2016–2025 / A. V. Khloptsev et al. // *Technosphere safety*. 2026. No. 2 (51). P. 160–179.

## Введение

Изменения состояния озонового слоя над любым регионом мира существенно влияют на вариации потока биологически активной ультрафиолетовой радиации, воздействующей на его население и живую природу [1–3]. Даже при частичном его разрушении первичная заболеваемость населения любого региона смертельно опасными формами

онкологических заболеваний значимо повышается [4, 5]. Изменяются также продолжительности циклов накопления на его территории горючего материала и ее термический режим [6], что влияет на динамику пожароопасности [7]. Поэтому выявление особенностей влияния различных природных факторов на изменения состояния озонового слоя является актуальной проблемой безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Решение указанной проблемы представляет наибольший интерес для регионов, в атмосфере над которыми частота возникновения отрицательных озоновых аномалий повышена. В России одним из них является Камчатский регион, в качестве условных границ которого могут рассматриваться меридианы  $155^\circ$  в. д. и  $163^\circ$  в. д., а также параллели  $49^\circ$  с. ш. и  $62^\circ$  с. ш.

Особенность Камчатского региона — наличие в нем 28 действующих вулканов. Среди них наиболее активным является Ключевская сопка (4 750 м) с координатами  $56^\circ 04'$  с. ш. и  $160^\circ 38'$  в. д. [8, 9]. Извержения этого вулкана лишь за последнее десятилетие происходили шесть раз:

- с 3 апреля по 6 ноября 2016 г.;
- с 1 ноября 2019 г. по 3 июля 2020 г.;
- с 18 февраля по 20 марта 2021 г.;
- в ноябре 2022 г.;
- с 23 июня 2023 г.;
- с 30 июля 2025 г.

Особенностью Камчатского региона также является повышенная повторяемость мощных землетрясений [10]. Упомянутые явления неоднократно регистрировались и за последнее десятилетие. К числу наиболее сильных могут быть отнесены два землетрясения.

Первое с магнитудой 6,9 произошло 5 июня 2023 г. Его эпицентр находился на дне Авачинского залива в 64 км от Петропавловска-Камчатского. Наиболее мощным землетрясением явилось второе, имевшее магнитуду 8,8. Оно случилось 30 июля 2025 г. Эпицентр находился на дне Тихого океана, в пункте с координатами  $52^\circ 30' 36''$  с. ш. и  $160^\circ 15' 40''$  в. д. В те же сутки началось извержение вулкана Ключевская сопка, а 3 августа 2025 г. начал извергаться вулкан Крашенинникова.

Как следует из изложенного, все опасные эндогенные геологические явления (далее — ОГЯ), зарегистрированные в регионе за 2016–2025 гг., происходили в секторе, границами которого являются меридианы  $160^\circ 00'$  в. д. и  $161^\circ 19'$  в. д. Многие из них сопровождались выделением значительной энергии и различных веществ, которые способны влиять на образование над регионом отрицательных озоновых аномалий.

Согласно существующим представлениям о причинах разрушения озонового слоя, одной из них является протекание в атмосфере реакций ликвидации озона, в которых как катализатор участвует водород либо гидроксил ОН [6, 7, 11–13]. Чем больше реакционные потоки таких катализаторов, тем при прочих равных условиях более интенсивно ликвидируется озон, что приводит к снижению его общего содержания (далее — ОСО).

Учитывая это, В. Л. Сывороткиным установлено, что одним из последствий активизации водородной дегазации земных недр является образование над районами, в которых она происходит, локальных отрицательных озоновых аномалий [8, 14–16]. Им неоднократно отмечалось возникновение таких аномалий над регионами, где происходили извержения вулканов, а также мощные землетрясения, в т. ч. и над Камчатским регионом. При этом установлено, что такие озоновые аномалии могут возникать в атмосфере и по другим причинам.

Вместе с тем вероятность, с которой отрицательные озоновые аномалии образуются при ОГЯ в Камчатском регионе, а также в другие периоды времени, ранее не оценивалась. Это не позволяет адекватно учитывать такие последствия ОГЯ при разработке мероприятий по защите от них населения.

Выявление рассматриваемых озоновых аномалий усложнено тем, что при ОГЯ водород из земных недр в основном выделяется не в стратосферу, где в основном расположен озон, а в тропосферу. Непосредственно в стратосферу он может поступать лишь при выбросах достаточно высоких столбов пепла. В тропосфере на подъем выделившегося в нее водорода, а также его миграцию в стратосферу существенно влияют циркуляционные процессы, многие составляющие которых изменяются случайным образом. В результате этого участки земной поверхности, над которыми после ОГЯ наблюдается снижение ОСО, не всегда соответствуют пунктам, где эти ОГЯ происходили.

Существенное влияние на подъем в стратосферу над Камчатским регионом выделившегося с его поверхности водорода оказывают циклоны, муссоны, а также Тихоокеанское струйное течение, северная периферия которого располагается над его южными районами. Так как скорость этого течения может достигать 25 м/с и более, его влияние может приводить к снижению ОСО над участками земной поверхности, удаленными на сотни километров от пункта, где произошла дегазация. Следовательно, в результате извержений вулканов возможно образование двух минимумов ОСО, различающихся между собой по времени. После мощного землетрясения более вероятно образование одного минимума ОСО, запаздывающего по отношению к нему на большую величину.

Направления и скорости воздушных потоков в тропосфере и стратосфере весьма изменчивы, как и реакционные потоков веществ, участвующих в разрушении стратосферного озона. С течением времени может непредсказуемо меняться и интенсивность водородной дегазации. Вследствие этого

изменения ОСО над тем или иным участком земной поверхности целесообразно рассматривать как случайную величину, характеристики которой зависят от координат, месяца, а также года.

Как следует из изложенного, допустимо предположить, что в периоды возникновения в Камчатском регионе ОГЯ значения указанной характеристики над некоторыми его участками в среднем значительно больше, чем в промежутках между ними.

Выдвинутая гипотеза тривиальной не является, т. к. причинами снижения ОСО, как уже отмечалось выше, могут служить и иные процессы. Их примером могут служить ландшафтные пожары, при которых существенно повышается температура подстилающей поверхности. Вследствие последнего активизируется термическая конвекция, выносящая пирогенные вещества в верхние слои тропосферы, откуда они, в результате действия тех или иных механизмов воздухообмена [1, 13], могут проникать в стратосферу и участвовать в разрушении стратосферного озона.

Тем не менее справедливость выдвинутой гипотезы ранее не проверялась.

Поэтому цель данной работы — проверка выдвинутой гипотезы на примере изменений ОСО, происходивших над Камчатским регионом в период 2016–2025 гг.

Для ее достижения были решены следующие задачи:

- оценка времен запаздывания дат возникновения ближайшего и главного минимумов ОСО над различными участками территории Камчатского региона по отношению к дате начала ОГЯ;
- определение частот, с которыми в некотором месяце, относящемся к изучаемому периоду времени, среднесуточные ОСО над тем или иным

пунктом региона снижались ниже соответствующих уровней.

**Фактический материал и методика исследований**

Для достижения указанной цели как источник информации об изменениях ОСО над Камчатским регионом использована информация [17], полученная с помощью инструмента OMI (искусственный спутник Земли AURA) за период с 1 января 2016 г. по 31 августа 2025 г. для всех пунктов региона, соответствующих узлам координатной сетки с шагом 1°.

OMI (Ozone Monitoring Instrument) разработан совместно Голландским аэрокосмическим агентством, Финским метеорологическим институтом, NASA. С его применением с 2004 г. осуществляется ежесуточный мониторинг ОСО над всеми участками земной поверхности размерами 0,25 × 0,25°. Инструмент OMI осуществляет измерение и сравнение спектральных характеристик солнечного света, рассеянного в атмосфере, а также отраженного от поверхности Земли в диапазоне длин волн 270–500 nm, со спектральным разрешением 0,5 nm и с пространственным разрешением 13 × 24 км на 1 пиксель. Сравнение этих спектров позволяет получить информацию о распределении в атмосфере концентрации

озона, который поглощает и рассеивает солнечную радиацию с соответствующими длинами волны. По этой информации вычисляется и значение ОСО, выраженное в единицах Добсона (Du).

Одна единица Добсона равна 0,01 мм толщины слоя, который образовал бы весь озон, содержащийся в столбе воздуха над изучаемым участком земной поверхности площадью 1 м², при условии, что он был бы сжат до давления 1 015 гПа и имел температуру 0 °С. При ОСО = 1 Du в атмосфере над участком площадью 1 м² содержится 2,69 × 10<sup>20</sup> молекул озона.

Допустимость применения указанной информации в качестве фактического материала подтверждена путем ее тестирования, с использованием сведений о значениях ОСО, измеренных в стандартные сроки, на озонометрической станции Петропавловск-Камчатский.

Анализ фактического материала показал, что информация о среднесуточных значениях ОСО над теми или иными пунктами региона в указанном источнике для многих дат отсутствует. Как пример, сведения о количестве пропусков такой информации в указанном фактическом материале для того или иного месяца 2020 г., а также некоторых пунктов региона представлены в табл. 1, 2.

**Таблица 1**  
**Количество пропусков информации об ОСО для некоторых месяцев 2020 г. и пунктов региона, расположенных на меридиане 155° в. д.**

Table 1  
Number of omissions in information on the TO for some months of 2020 and points in the region located on the meridian 155° E

Месяц Month	Широта (° с. ш.) Latitude (° s. w.)							На всех широтах At all latitudes
	62	60	58	56	54	52	50	
Январь January	13	3	2	4	4	7	6	78

Окончание таблицы 1

Месяц Month	Широта (° с. ш.) Latitude (° s. w.)							На всех широтах At all latitudes
	62	60	58	56	54	52	50	
Февраль February	0	0	0	2	4	4	5	30
Март March	0	0	0	2	4	6	6	36
Апрель April	0	1	1	4	5	5	7	46
Май May	0	0	0	2	4	4	6	32
Июнь June	0	0	0	2	3	4	6	30
Июль July	0	0	0	2	5	5	6	36
Август August	1	0	1	2	4	5	6	38
Сентябрь September	0	0	0	2	4	4	6	32
Октябрь October	0	0	0	2	4	4	6	32
Ноябрь November	5	9	6	2	5	4	6	74
Декабрь December	28	4	7	6	7	6	6	128
Всего in total	47	17	17	32	53	58	72	—

**Таблица 2**  
**Количество пропусков информации об ОСО для некоторых месяцев 2020 г.**  
**и пунктов региона, расположенных на меридиане 161° в. д.**

Table 2  
 Number of omissions in information on the TO for some months of 2020  
 and points in the region located on the meridian 161 E

Месяц Month	Широта (° с. ш.) Latitude (° s. w.)							На всех широтах At all latitudes
	62	60	58	56	54	52	50	
Январь January	11	3	0	2	7	7	8	76
Февраль February	0	0	0	2	3	6	8	38
Март March	0	0	0	2	3	4	8	34
Апрель April	0	1	1	2	5	4	6	38
Май May	0	0	0	2	3	4	8	34
Июнь June	0	0	0	2	4	4	7	34

Окончание таблицы 2

Месяц Month	Широта (° с. ш.) Latitude (° s. w.)							На всех широтах At all latitudes
	62	60	58	56	54	52	50	
Июль July	1	0	0	2	5	4	6	36
Август August	1	0	0	2	5	4	6	38
Сентябрь September	0	0	0	2	3	3	7	30
Октябрь October	0	0	0	2	4	5	7	36
Ноябрь November	2	5	4	5	5	4	7	64
Декабрь December	28	2	2	4	8	9	10	126
Всего in total	43	11	8	28	54	58	90	—

Как видим из табл. 1, 2, для декабря и января количество пропусков в рассматриваемой информации значительно больше, чем для прочих месяцев. Повышено количество пропусков также в пунктах, расположенных вблизи северной и южной границ региона.

В другие годы распределению в пределах изучаемого региона пропусков присущи аналогичные особенности. Поэтому фактический материал может быть признан вполне достоверным для месяцев с февраля по ноябрь и для широт от 55° с. ш. до 61° с. ш.

Учитывая указанные особенности фактического материала, значение частоты изучаемого события для того или иного месяца вычислялось как отношение количества суток, в течение которых оно за этот месяц было выявлено, к общему количеству суток этого месяца, для которых в [17] представлена информация о значениях ОСО.

При решении первой задачи рассматривались зависимости от времени среднесуточных значений ОСО за весь изучаемый период, соответствующие всем учитываемым пунктам Камчатского региона. Для каждого участка

определялись промежутки времени между датой возникновения того или иного ОГЯ и датами, в которые происходило ближайшее (б) и наибольшее (г) снижение над ним ОСО.

Решение второй задачи осуществлялось в два этапа.

На первом этапе определялись пороговые уровни, применявшиеся далее для оценки изучаемых частот.

Если бы изменения в каком-либо месяце среднесуточных ОСО над различными пунктами региона являлись выборками нормального случайного процесса, то основными их статистическими характеристиками являлись бы среднее значение ( $m$ ) и среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ ). При этом как пороговые могли бы рассматриваться уровни:  $X_1 = m - \sigma$ ; а также  $X_2 = m - 2\sigma$ , вероятность снижения ниже которых среднесуточных ОСО составляла бы 0,07 и 0,028.

Предполагалось, что в 2024 г., в котором ОГЯ на территории Камчатского региона не происходило, для любого месяца статистические свойства изменений ОСО близки к свойствам нормального случайного процесса.

В соответствии с критерием Пирсона такое предположение может быть признано справедливым, если частоты, с которыми ОСО для соответствующего пункта Камчатского региона и месяца 2024 г. (в котором ОГЯ не зафиксировано) окажутся близки к указанным значениям. Если в действительности фактические значения рассматриваемых частот окажутся существенно иными, то предположение о нормальности изучаемого процесса неверно, что, однако, не мешает использовать выбранные уровни  $X_1$  и  $X_2$  при решении второй задачи.

На втором этапе решения второй задачи для каждого месяца и каждого пункта вычислялась частота, с которой среднесуточное ОСО было ниже уровней  $X_1$  и  $X_2$ . При этом значения частоты снижения ОСО для месяцев, следующих за началом того или иного ОГЯ, происходящего над участками поверхности региона, близкими к его эпицентру, сопоставлялись с аналогичными показателями для других участков и месяцев.

Оценивалась вероятность того, что пунктам и месяцам, в которые происходили ОГЯ, соответствуют максимумы частоты возникновения указанных событий.

Нетрудно видеть, что изложенная методика позволяет для каждого участка изучаемого региона, а также месяца оценить частоту, с которой для них выдвинутая гипотеза в период 2016–2025 гг. являлась справедливой, поэтому она позволяет достичь цели данной работы.

Следует отметить, что получаемые с ее применением оценки изучаемых частот являются неточными, так как сведения о значениях ОСО, которые использованы для их вычисления, соответствуют не любым датам из изучаемого периода, а количество их пропусков для того или иного месяца в разные

годы различно. Поэтому выводы, которые данная методика позволяет получить, целесообразно рассматривать как носящие качественный характер.

### Результаты исследования и их анализ

С применением изложенной методики для каждого периода ОГЯ и каждого пункта Камчатского региона определены сдвиги по времени между датой начала соответствующего процесса, а также датами, в которые среднесуточные значения ОСО над ним достигали минимумов: ближайшего к дате ОГЯ (б) и главного (г).

Как пример, рассмотрим зависимости от времени среднесуточных значений ОСО среднесуточных значений ОСО ( $Du$ ) в период до и после Камчатского землетрясения 30 июля 2025 г., над пунктами Камчатского региона, расположенными на меридианах  $155^\circ$  в. д.,  $160^\circ$  в. д. и  $163^\circ$  в. д., а также параллелях от  $49^\circ$  с. ш. и до  $62^\circ$  с. ш. с шагом  $1^\circ$ .

Рассматриваемый временной интервал выбран потому, что на нем в регионе произошло мощнейшее землетрясение (30 июля 2025 г.) и начались извержения двух вулканов: Ключевская Сопка (30 июля 2025 г.) и Крашенинникова (2 августа 2025 г.). Вследствие этого указанные ОГЯ оказывали на озоновый слой над Камчатским регионом суммарное воздействие, отклик на которое мог оказаться заметным.

Рассматриваемые меридианы  $155^\circ$  в. д. и  $163^\circ$  в. д. соответствуют западной и восточной границам Камчатского региона, а меридиан  $160^\circ$  в. д. находится вблизи эпицентра упомянутого землетрясения и кратеров обоих извергающихся вулканов.

Зависимости от времени среднесуточных значений ОСО ( $Du$ ) в период до и после

Камчатского землетрясения 2025 г. над пунктами Камчатского региона, расположенны-

ми на указанных меридианах и параллелях, представлены на рис. 1.

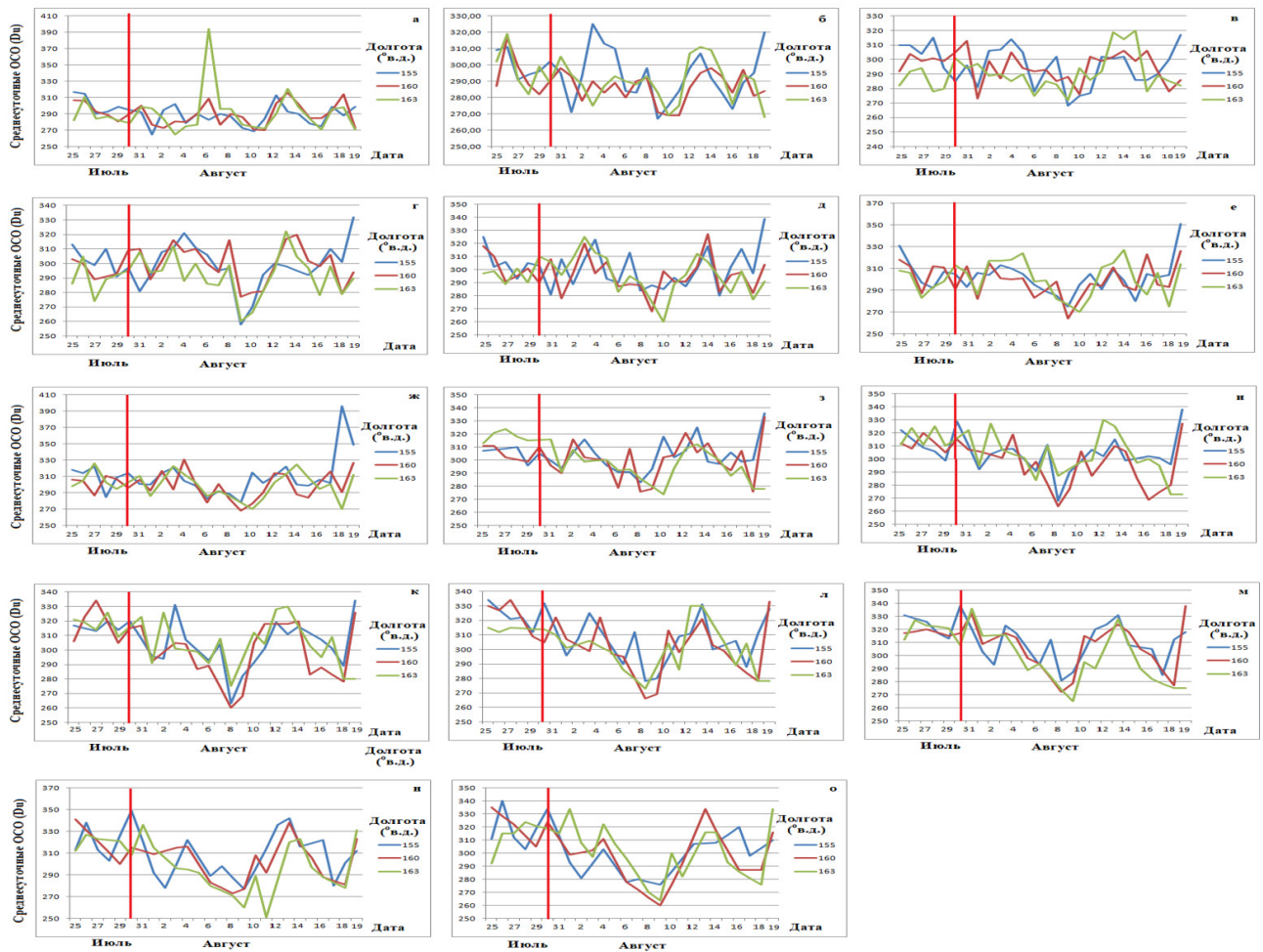


Рис. 1. Зависимости от времени среднесуточных значений ОСО ( $D_u$ ) в период до и после Камчатского землетрясения 2025 г. над пунктами Камчатского региона, расположенными на некоторых меридианах, а также параллелях: *a* — 62° с. ш.; *б* — 61° с. ш.; *в* — 60° с. ш.; *г* — 59° с. ш.; *д* — 58° с. ш.; *е* — 57° с. ш.; *ж* — 56° с. ш.; *з* — 55° с. ш.; *и* — 54° с. ш.; *к* — 53° с. ш.; *л* — 52° с. ш.; *м* — 51° с. ш.; *н* — 50° с. ш.; *о* — 49° с. ш. Вертикальной красной чертой обозначена дата — 30 июля 2025 г.

Fig. 1. Time dependence of the average daily values of the OSO ( $D_u$ ) before and after the 2025 Kamchatka earthquake over the points of the Kamchatka region located on some meridians and parallels. The vertical red line indicates the date of July 30, 2025

Как видно из данных рис. 1, зависимости от времени среднесуточных значений ОСО ( $D_u$ ) в период до и после Камчатского землетрясения 2025 г. над всеми рассматриваемыми пунктами Камчатского региона носят характер сложных колебаний. Непосредственно 30 июля минимумы ОСО выявлены в некоторых районах, расположенных вблизи пунктов, где произошли указанные ОГЯ (см. рис. 1*д*, 1*е*). При этом аналогичные

экстремумы в различных пунктах региона выявлены как до, так и после этой даты.

Очевидно, что откликом на любое ОГЯ могут являться минимумы ОСО, возникшие лишь после его начала. Вопрос о том, могут ли минимумы ОСО, предшествующие началу ОГЯ, служить его предвестником нуждается в дополнительном изучении.

Непосредственно после 30 июля 2025 г. то или иное снижение ОСО над всеми пунктами

региона наблюдалось в даты, запаздывающие по отношению к указанной на 2–3 суток. В такие даты минимумы ОСО выявлены в пунктах, расположенных на параллелях 56–61° с. ш. и 53° с. ш. Рис. 1б–1о свидетельствуют о том, что наименьшие значения ОСО в регионе за рассматриваемый период для большинства его пунктов соответствуют 8–10 августа 2025 г. Подобная отрицательная озоновая аномалия возникает с запаздыванием по отношению к дате начала ОГЯ на 9–11 суток. Нетрудно увидеть, что чем ближе некоторый пункт расположен к эпицентру землетрясения или упомянутому вулкану, тем запаздывание даты, соответствующее такому минимуму ОСО, по отношению к 30 июля 2025 г. меньше, а абсолютная величина такого снижения ОСО больше. Это позволяет рассматривать выявленные аномалии как последствия происшедших ОГЯ.

Образование обоих минимумов ОСО с указанными запаздываниями по отношению к моменту начала ОГЯ возможны, так как выделявшийся при этих процессах водород может поступить в озоновый слой (на высоты 23–28 км) лишь спустя некоторое время.

Как отмечалось выше, извержение вулкана Ключевская сопка 30 июля 2025 г. началось с выброса столба пепла и вулканических газов на высоту 5–6 км над его вершиной (высота которой 4 750 м). Очевидно, что при этом событии часть водорода, входящего в состав упомянутых газов, проникла непосредственно в стратосферу. Этот водород, по-видимому, достиг озонового слоя над регионом за 2–3 суток, что привело к образованию ближайшего минимума ОСО. Значительная часть поступившего в тропосферу при этом извержении водорода могла

в ней частично перемешаться с воздухом. Поэтому она могла преодолеть тропопаузу лишь с некоторым запаздыванием.

Водород, выделявшийся в атмосферу при землетрясении, а также в процессе дальнейшего извержения того же вулкана, столь мощной и консолидированной струи, по-видимому, не образовывал, а в стратосферу поступал в результате действия иных, менее быстрых механизмов воздухообмена [1, 13]. Вероятно, именно поэтому наиболее существенное снижение ОСО над регионом могло произойти позже (8–10 августа).

На подъем в стратосферу водорода, выделившегося с земной поверхности, наверняка оказывала влияние динамика тропосферы, существенный вклад в которую, как известно, вносит разномасштабная турбулентность. В разные моменты времени воздушные течения, существовавшие в тропосфере над регионом, относили выделяющийся с его поверхности водород в различных направлениях. Последнее, по-видимому, привело к образованию в озоновом слое практически над всем Камчатским регионом указанных откликов на рассматриваемые ОГЯ.

При решении второй задачи для каждого пункта Камчатского региона и каждого месяца, относящегося к 2024 г. (в котором ОГЯ зарегистрировано не было), определены средние значения и среднеквадратические отклонения среднесуточных ОСО, которые использованы для определения пороговых уровней ОСО  $X_1$  и  $X_2$ . Примеры значений указанных уровней, соответствующих тем или иным месяцам для пунктов региона, расположенных на меридиане 161° в. д. (вблизи которого происходили ОГЯ) и на различных широтах, приведены в табл. 3.

**Таблица 3**  
**Примеры значений  $X_1$  и  $X_2$  для различных месяцев и для пунктов региона, расположенных на меридиане  $161^\circ$  в. д., а также на некоторых параллелях**

Table 3  
 Examples of  $X_1$  and  $X_2$  values for different months and for points in the region located on the meridian  $161$  o. d., as well as on some parallels

Месяц Month	Значения уровня $X_1$ (Du) Values of the $X_1$ (Du) level						Значения уровня $X_2$ (Du) Values of the $X_2$ (Du) level					
	Широта ( $^\circ$ с. ш.) Latitude ( $^\circ$ s. w.)											
	62	57	56	55	52	49	62	57	56	55	52	49
Январь January	429,3	416,4	408,5	409,1	411,2	408,0	392,4	374,5	363,7	365,8	374,4	379,6
Февраль February	468,9	459,8	453,5	455,3	453,9	426,3	434,8	416,2	407,1	405,5	408,4	381,4
Март March	419,1	431,7	436,6	439,5	435,1	441,8	388,1	402,6	410,9	413,4	402,7	410,4
Апрель April	415,3	401,1	392,9	388,8	391,5	385,7	382,2	365,3	355,1	349,5	351,9	346,1
Май May	389,7	385,9	380,7	378,9	366,3	359,7	363,4	353,3	345,1	342,1	321,1	316,9
Июнь June	364,7	373,0	373,3	372,9	367,4	363,3	340,5	355,5	355,3	353,7	344,3	336,4
Июль July	322,4	319,1	322,4	321,0	329,5	311,8	299,1	295,6	300,9	297,6	304,4	278,3
Август August	312,9	304,0	301,3	301,4	289,0	274,5	293,5	284,9	281,9	283,2	269,7	252,2
Сентябрь September	302,1	305,2	306,7	306,6	300,2	292,4	276,2	276,7	278,1	275,5	270,9	263,6
Октябрь October	325,6	310,9	303,6	298,8	279,7	264,8	299,7	283,2	276,4	271,3	247,7	232,4
Ноябрь November	350,3	352,4	353,6	354,4	349,5	339,3	310,2	323,9	327,8	329,2	323,5	313,8
Декабрь December	395,4	400,1	397,7	400,1	389,6	386,6	366,6	372,3	367,9	370,7	356,5	358,8

Установлено, что для месяцев 2024 г. частоты снижения среднесуточного ОСО ниже уровней  $X_1$  и  $X_2$  для всех рассматриваемых пунктов Камчатского региона существенно выше, чем 0,07 и 0,028. Следовательно, в действительности распределение вероятностей ОСО для таких пунктов и месяцев существенно отличается от Гауссова.

Также для каждого месяца, относящегося к периоду январь 2016 г. — август 2025 г.,

и каждого пункта Камчатского региона определена частота события, при котором среднесуточное значение ОСО снижалось ниже уровней  $X_1$  или  $X_2$ .

Как пример, на рис. 2 показаны зависимости от времени частоты события, при котором среднесуточное значение ОСО над пунктами, расположенными на параллелях  $56^\circ$  с. ш. и  $49^\circ$  с. ш., а также на меридиане  $161^\circ$  в. д., снижалось ниже уровней  $X_1$ .

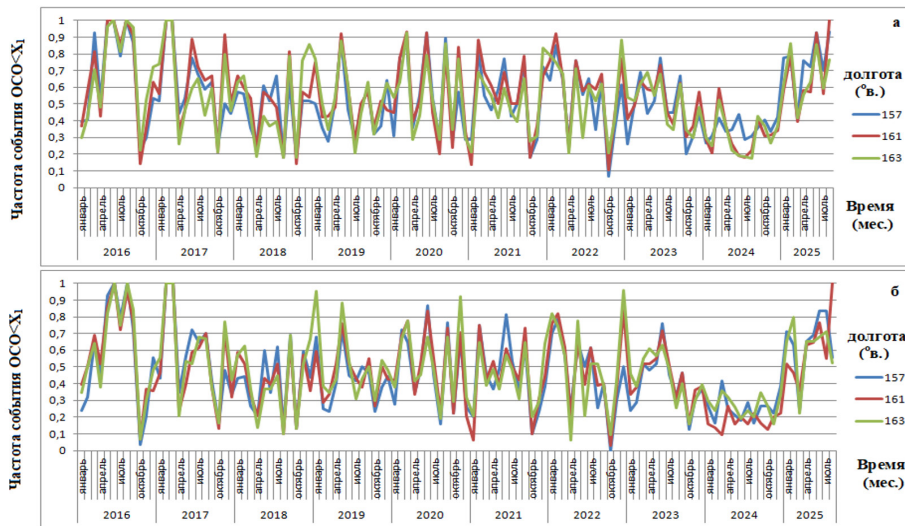


Рис. 2. Зависимости от времени частот снижений среднесуточных значений ОСО ниже уровней  $X_1$ , происходивших за период с января 2016 г. по август 2025 г., для пунктов Камчатского региона, расположенных на указанных меридианах и на параллелях: а — 56° с. ш.; б — 57° с. ш.

Fig. 2. Time-dependent frequencies of reductions in the average daily values of OSO below the  $X_1$  levels, which occurred between January 2016 and August 2025 for the locations of the Kamchatka region

Из данных рис. 2 следует, что зависимости частот рассматриваемого события от времени для пунктов Камчатского региона, расположенных на параллелях 56° с. ш. и 57° с. ш., а также на меридианах 157° в. д., 161° в. д. и 163° в. д. обладают существенным подобием. Из них видно, что каждому извержению вулкана и каждому землетрясению, произошедшему в регионе за рассматриваемый период, в рассматриваемых зависимостях соответствует максимум частоты, для которого значение последней составляет не менее 0,7. Вместе с тем многие максимумы началам каких-либо ОГЯ не соответствуют.

Даже не учитывая максимумы, приходящиеся на декабрь и январь каждого года (значения которых вычислены по существенно меньшему количеству учитываемых значений ОСО), из рис. 2 следует, что максимумы, не соответствующие началам каких-либо ОГЯ, составляют до 75 % от их общего количества. «До» потому, что активная водородная дегазация земных недр с той или иной интенсивностью происходила не только в месяцы, на которые приходилось начало проис-

ходивших извержений, что также могло привести к образованию некоторых максимумов.

Вместе с тем на графиках, представленных на рис. 2, присутствуют максимумы, приходящиеся на периоды, когда предыдущее ОГЯ, по имеющимся данным, завершилось, а следующее ОГЯ еще не началось. Так, например, в 2025 г. максимумы рассматриваемого показателя приходились не только на август (непосредственно сразу после Камчатского землетрясения 30 июля и начала извержения вулканов Ключевая сопка и Крашенинникова), но и на январь и июнь.

Если максимум, соответствующий январю, может рассматриваться как следствие значительного количества пропусков в исходных данных (которых было 11), то максимум, приходящийся на июнь, существует вполне реально. Поэтому такие события нуждаются в объяснении. Тем более, что анализ аналогичных зависимостей, соответствующих всем 126 рассматриваемым пунктам Камчатского региона, позволил выявить такие «опережающие» максимумы для всех выявленных в нем за 2016–2025 гг. мощных землетрясений.

Из данных рис. 2 понятно также, что абсолютное большинство максимумов и минимумов рассматриваемых зависимостей, соответствующих пунктам, находящимся на разных параллелях и меридианах, совпадают по времени. Такие же совпадения выявлены и для прочих пунктов региона. Из этого следует, что изменения ОСО над всеми пунктами Камчатского региона обусловлены действием одних и тех же факторов.

Одним из таких факторов, вероятно, являются вариации характеристик атмосферной циркуляции, обусловленные сменой времен года, но могут существовать и другие. К последним могут относиться происходящие в Камчатском регионе изменения

интенсивности водородной дегазации земных недр.

Для подтверждения наличия связи выявленных «опережающих» максимумов с ОГЯ сопоставлены зависимости от времени значений частоты, с которой среднесуточные ОСО над всеми пунктами Камчатского региона, для месяцев, соответствующих началам каких-либо ОГЯ, и для месяцев, опережающих их на два месяца, снижались ниже уровней  $X_1$ .

Как пример, на рис. 3 показаны зависимости от долготы значений частоты, с которой среднесуточные ОСО для августа и июня 2025 г. над пунктами Камчатского региона, расположенных на некоторых параллелях, снижались ниже уровней  $X_1$ .

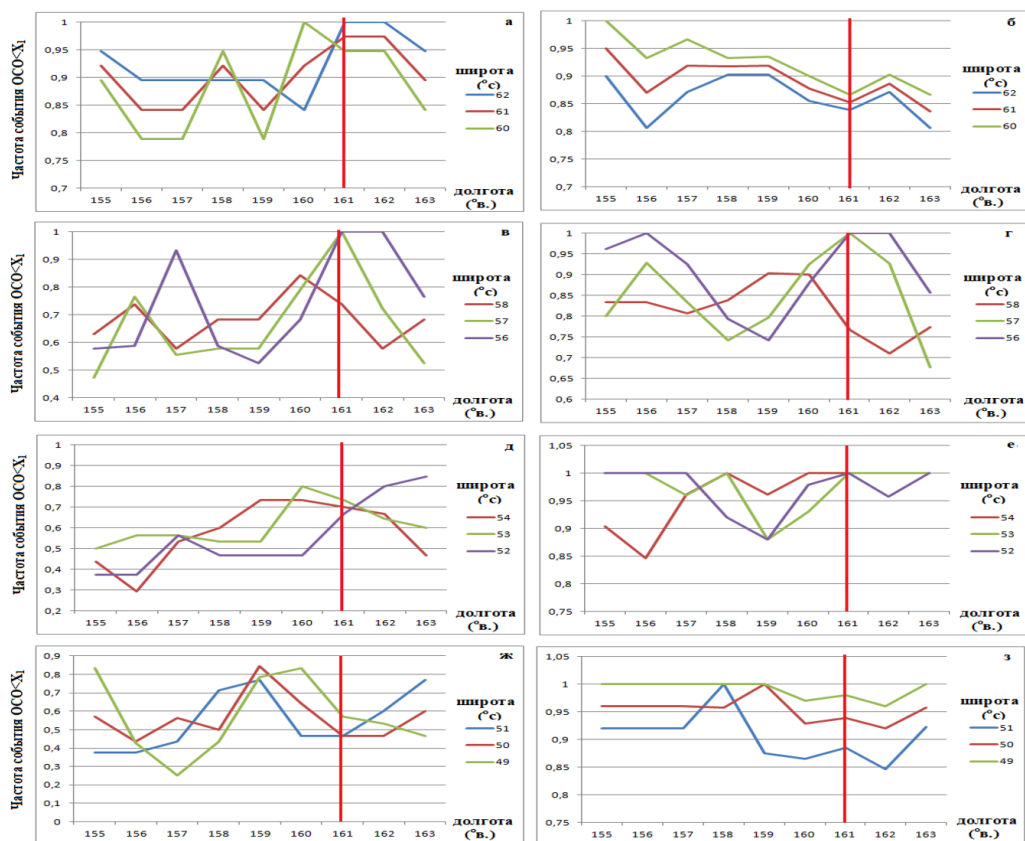


Рис. 3. Зависимости от долготы значений частоты, с которой среднесуточные ОСО снижались ниже уровней  $X_1$  для пунктов Камчатского региона, расположенных на параллелях для августа 2025 г.: а — 60° с. ш., 61° с. ш., 62° с. ш.; в — 56° с. ш., 57° с. ш., 58° с. ш.; д — 52° с. ш., 53° с. ш., 54° с. ш.; ж — 49° с. ш., 50° с. ш., 51° с. ш.; для июня 2025 г.: б — 60° с. ш., 61° с. ш., 62° с. ш.; г — 56° с. ш., 57° с. ш., 58° с. ш.; е — 52° с. ш., 53° с. ш., 54° с. ш.; з — 49° с. ш., 50° с. ш., 51° с. ш. Красной линией выделен меридиан 161° в. д., у которого происходили все ОГЯ

Fig. 3. Dependence of the frequency of the average daily OSOs falling below the  $X_1$  levels on longitude, for the Kamchatka region's locations on the parallels (for August 2025, for June 2025)

Таким образом, из рис. 3 очевидно, что во всем Камчатском регионе и в июне, и в августе 2025 г. среднесуточные ОСО снижались ниже уровней  $X_1$  наиболее часто в пунктах, расположенных на меридианах близких к  $161^\circ$  в. д. (вблизи которого находятся кратеры обоих проснувшихся вулканов и эпицентр землетрясения).

На рис. 4 показаны зависимости частоты, с которой среднесуточные ОСО для июня и августа 2025 г. над пунктами Камчатского региона, расположенных на некоторых ме-

ридианах, снижались ниже уровней  $X_1$  или  $X_2$ . На всех рассматриваемых меридианах наибольшие значения частоты изучаемых событий для августа соответствуют параллелям  $55\text{--}57^\circ$  с. ш., также меридиану  $161^\circ$  в. д., вблизи которых расположены вулканы Ключевская сопка и Крашенинникова. Для июня максимумы частоты тех же событий соответствуют параллели  $52^\circ$  с. ш., вблизи которой расположен эпицентр Камчатского землетрясения (до начала которого еще больше месяца).

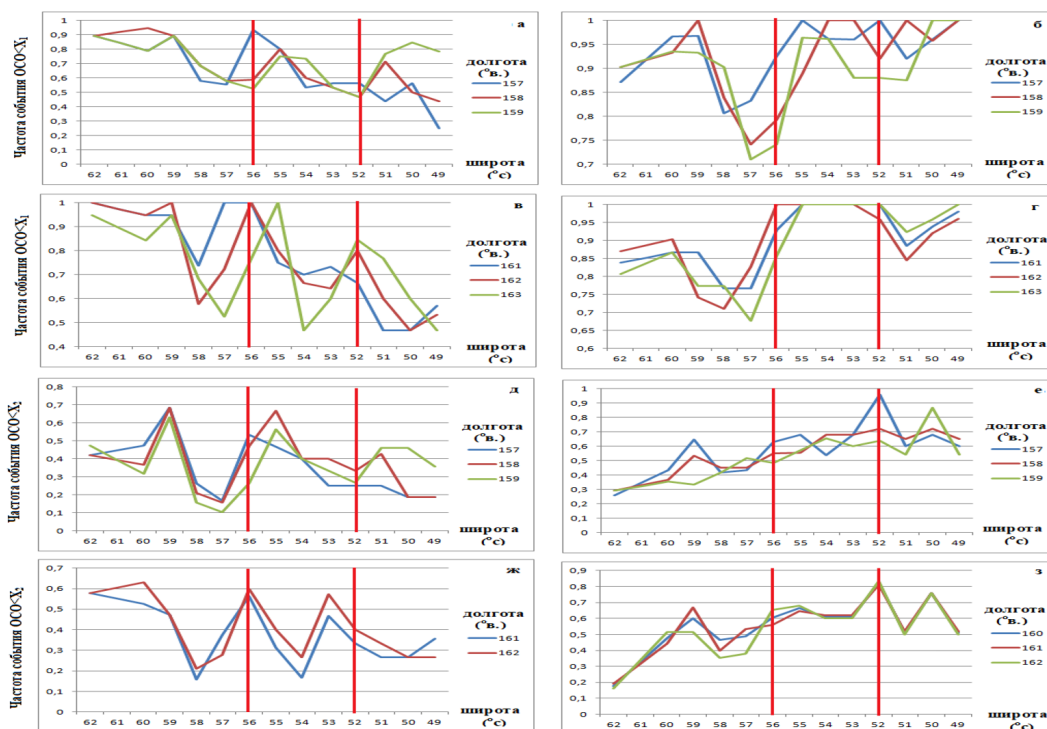


Рис. 4. Зависимости от широты частоты, с которой среднесуточные ОСО для августа и июня 2025 г. над пунктами Камчатского региона, расположенных на некоторых меридианах, снижались ниже уровней. Август 2025 г.: а, в —  $X_1$ ; д, ж —  $X_2$ . Июнь 2025 г.: б, в —  $X_1$ ; е, з —  $X_2$ . Красными линиями показаны параллели, вблизи которых расположены извергающиеся вулканы и эпицентр землетрясения

Fig. 4. Dependences on latitude of the frequency with which the average daily TO for August and June 2025, over points in the Kamchatka region located on some meridians, decreased below the levels. August 2025 г.: а, с —  $X_1$ ; е, g —  $X_2$ . June 2025: б, d —  $X_1$ ; f, h —  $X_2$ .

Из данных рис. 3 и 4 можно сделать вывод о том, что выявленный максимум частоты снижения ОСО, соответствующих августу, ниже уровня  $X_1$  и  $X_2$  для пунктов Камчатского региона, расположенных на меридианах и параллелях, близких к координатам кратеров вулканов Ключевская сопка и Крашенинникова,

соответствует существующим представлениям о влиянии происходившей в них активной водородной дегазации на разрушение стратосферного озона [8, 14–16]. Вместе с тем установленный аналогичный максимум для июня, соответствующий пунктам, расположенным вблизи эпицентра Камчатского

землетрясения, — факт неожиданный. Как показал анализ аналогичных зависимостей, соответствующих предыдущим годам, выявленные закономерности проявляются и для июньского землетрясения 2023 г.

Это подтверждает рис. 5, на котором показаны зависимости от времени частоты снижения ниже уровней  $X_1$  среднесуточных ОСО над пунктами, расположенными на различных параллелях и на меридианах

155° в. д., 160° в. д. и 161° в. д., для периода январь 2023 г. — август 2025 г.

Как видно из рис. 5, для всех пунктов Камчатского региона, расположенных на рассматриваемых меридианах и параллелях и для любого месяца 2024 г. частоты снижения среднесуточного ОСО ниже уровня  $X_1$  значительно меньше, чем для месяцев 2023 г. и 2025 г., в которые происходили рассматриваемые ОГЯ.

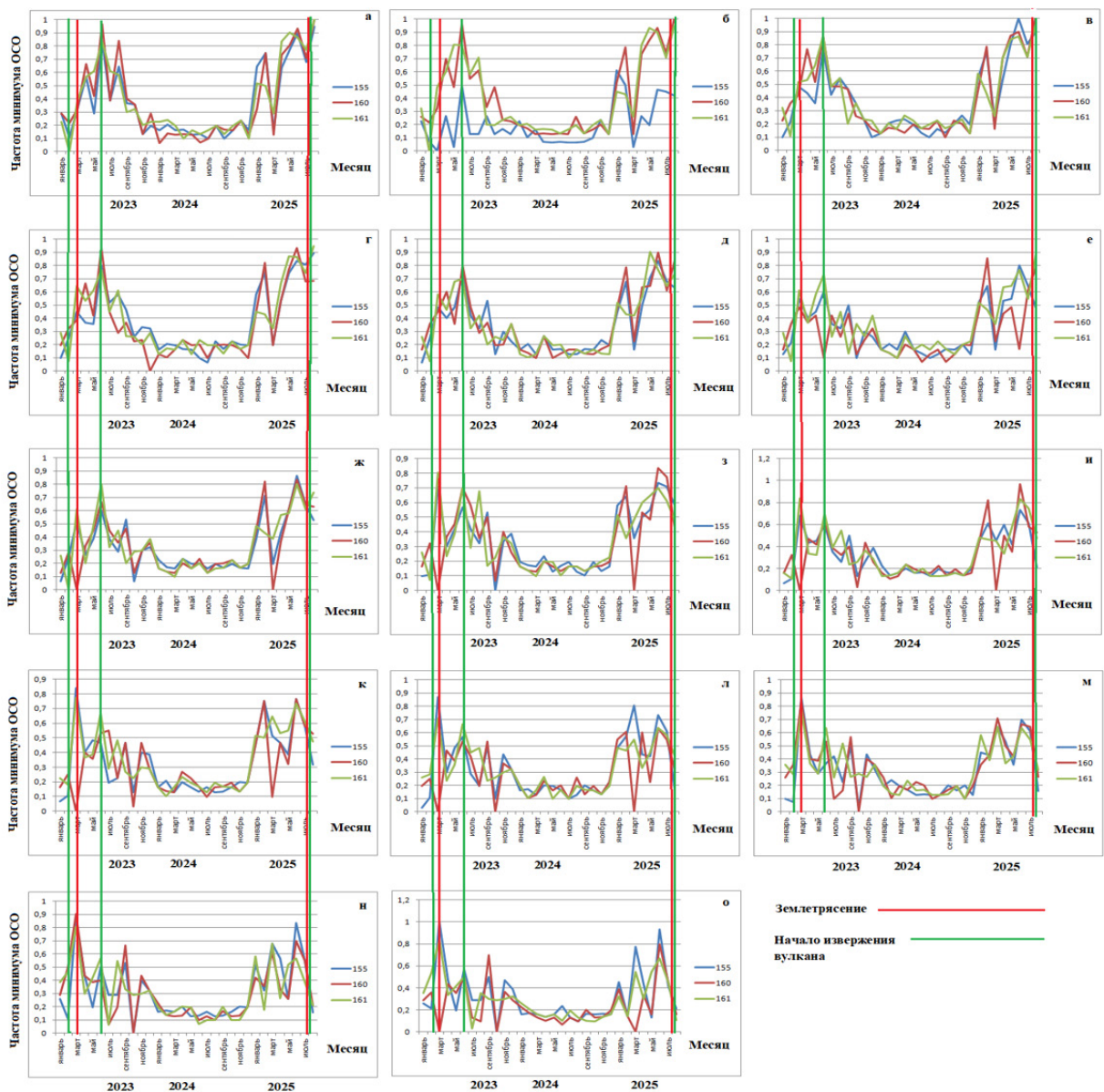


Рис. 5. Зависимости от времени частоты снижения ниже уровня  $X_1$  среднесуточных ОСО над пунктами Камчатского региона, расположенными на широтах:

*a* — 62° с. ш.; *б* — 61° с. ш.; *в* — 60° с. ш.; *г* — 59° с. ш.; *д* — 58° с. ш.; *е* — 57° с. ш.; *ж* — 56° с. ш.; *з* — 55° с. ш.; *и* — 54° с. ш.; *к* — 53° с. ш.; *л* — 52° с. ш.; *м* — 51° с. ш.; *н* — 50° с. ш.; *о* — 49° с. ш.

Fig. 5. Time-dependent frequency of drops below the  $X_1$  level of average daily OSOs over the Kamchatka region

На всех рассматриваемых параллелях, расположенных к югу от  $57^{\circ}$  с. ш. в изучаемых зависимостях присутствуют максимумы, совпадающие по времени с месяцами, для которых в Камчатском регионе происходили землетрясения (2023 г., 2025 г.). Выявлены также максимумы, соответствующие апрельскому извержению вулкана Шивелуч (2023 г.) и июльским извержениям вулканов Ключевская сопка и Крашенинникова (2025 г.).

Максимумы, опережающие Камчатское землетрясение (2025 г.) на два месяца, обнаружены на параллелях, расположенных к югу от  $55^{\circ}$  с. ш., на семь месяцев (январь) — на всех параллелях.

Максимумы, опережающие землетрясение 2023 г. на два месяца, обнаружены также на параллелях  $55\text{--}57^{\circ}$  с. ш. Достоверность этого вывода понижена, так как в информации об ОСО для января имело место много пропусков. Аналогичные максимумы, опережающие его на семь месяцев, выявлены для всех параллелей. Максимумы, опережающие по времени начала извержений вулканов, не обнаружены.

Таким образом, справедливость выдвинутой гипотезы подтверждена, а цель исследования достигнута.

### Обсуждение полученных результатов

Из полученных результатов следует, что в целом они подтверждают справедливость выводов [8, 14–16] о роли водородной дегазации земных недр в происходящих изменениях состояния озонового слоя. Вместе с тем некоторые из установленных фактов обладают научной новизной. К ним относятся:

1. Оценки сдвигов по времени между датами, в которые в Камчатском регионе

происходили ОГЯ, а также датами образования над ним отрицательной озоновой аномалии.

2. Оценки частот, с которыми над различными участками поверхности Камчатского региона снижение среднесуточных значений ОСО ниже выбранных уровней происходило в те или иные месяцы 2016–2025 гг., подтверждающие представления о том, что в год, когда ОГЯ здесь не происходило, упомянутые события возникают реже.

3. Расположения участков Камчатского региона, над которыми при возникновении в нем рассматриваемых ОГЯ существенно увеличиваются частоты снижения среднесуточных значений ОСО ниже выбранных уровней.

4. Наряду с максимумами упомянутых частот, для месяцев, на которые приходятся начала учитываемых ОГЯ, которые допускают интерпретацию как отклики озонового слоя на процесс водородной дегазации земных недр региона, существуют также их максимумы, опережающие происходящие здесь землетрясения на два, а возможно и на семь месяцев. В такие месяцы наибольшие значения рассматриваемых частот выявлены для тех же участков региона, где аналогичные максимумы имеют место непосредственно после происшедших в нем землетрясений.

Причины существования «опережающих» максимумов нуждаются в дополнительном изучении, тем не менее установленные факты позволяют предположить, что возникновение над регионом отрицательной озоновой аномалии может служить предвестником возникновения на соответствующем участке его поверхности мощного землетрясения.

Актуальной проблемой безопасности при чрезвычайных ситуациях является создание и запуск отечественного искусственного спутника Земли, оснащенного инструментом, аналогичным ОМІ, что позволило бы осуществлять оперативный мониторинг изменений общего содержания озона над всей территорией России.

### Выводы

Таким образом, получены экспериментальные подтверждения справедливости представлений о том, что одной из причин возникновения отрицательной озоновой аномалии над Камчатским регионом является повышенная интенсивность происходящей в нем водородной дегазации земных недр, происходящей при случающихся здесь вулканических извержениях и мощных землетрясениях.

1. Установлено, что откликом озонового слоя на указанные события в Камчатском регионе является происходящее с высокой вероятностью существенное уве-

личение частоты, которая вызывает снижение среднесуточных значений общего содержания озона не только над их эпицентрами, но и над многими другими его районами.

2. При вулканических извержениях и землетрясениях в регионе, происходящих в летние месяцы, над большинством участков его поверхности возникают две «волны» разрушения стратосферного озона. Первая запаздывает по отношению к дате указанного события на 2–4 суток, а вторая — на 8–30 суток. В зимние месяцы при тех же явлениях, как правило, возникает только одна такая «волна».

Изменения распределения общего содержания озона над Камчатским регионом, происходящие до начала в нем мощных землетрясений, обладают статистическими свойствами, позволяющими рассматривать их как предвестников таких событий, опережающих их начало на известное время и указывающих район, в котором они могут произойти.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Холопцев А. В., Никифорова М. П., Больших А. В. Мировой океан и озоносфера. Saarbrucken, Deutschland, 2014. 522 с.
2. Effects of stratospheric ozone depletion on the environment and agriculture / S. M. Ali et al. // International Journal of Advancements in Research & Technology. 2012. Vol. 1. No. 4. P. 31–36.
3. Interactive effects of ozone depletion and climate change on biogeochemical cycles / R. G. Zepp, T. V. Callaghan, D. J. Erickson // Photochem. Photobiol. Sci. 2003. No. 2. P. 51–61.
4. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2010 assesment. Nairobi, 2010. 328 p.
5. Stratospheric ozone depletion, ultraviolet radiation and health / A. J. McMichael et al. // Climate change and human health. 2010. P. 159–180.

6. Muller R. Stratospheric ozone depletion and climate change. RSC Publishing, 2012. 346 p.
7. Сывороткин В. Л. О природе природных пожаров // *Пространство и Время*. 2016. Т. 11, № 1. С. 22–44.
8. Сывороткин В. Л. Извержения вулканов // *Пространство и Время*. 2017. № 1 (27). С. 196–213.
9. Сывороткин В. Л. Землетрясения // *Пространство и Время*. 2011. № 2 (4). С. 124–137.
10. Newman P. A. Stratospheric Ozone. NASA, 2003. 480 p.
11. Хргиан А. Х. Физика атмосферного озона. Л., 1973. 292 с.
12. Dessler A. The Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone. Academic Press, 2000. 520 p.
13. Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и тропосферы. М., 2011. 451 с.
14. Сывороткин В. Л. Дегазационная концепция глобальных катастроф // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2024. № 4. С. 2–11.
15. Сывороткин В. Л. Дегазационная концепция глобальных катастроф: основные положения, новые результаты // *Вопросы географии*. 2019. № 149. С. 35–51.
16. Сывороткин В. Л. Глубинная дегазация Земли и вулканы — откуда берутся страшные извержения? // *ИА Регнум*. 2022. № 1.05 С. 32–43.
17. Временные ряды ОСО, основанные на информации, полученной инструментом ОМИ. URL: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/neubrew/SatO3DataTimeSeries.jsp> (дата обращения: 13.03.2026).

## REFERENCES

1. Kholoptsev A. V., Nikiforova M. P., Bolshikh A. V. The World Ocean and the Ozone Layer. Saarbrucken, Deutschland, 2014. 522 p.
2. Effects of stratospheric ozone depletion on the environment and agriculture / S. M. Ali et al. // *International Journal of Advancements in Research & Technology*. 2012. Vol. 1. No. 4. P. 31–36.
3. Interactive effects of ozone depletion and climate change on biogeochemical cycles / R. G. Zepp, T. V. Callaghan, D. J. Erickson // *Photochem. Photobiol. Sci.* 2003. No. 2. P. 51–61.
4. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2010 assesment. Nairobi, 2010. 328 p.
5. Stratospheric ozone depletion, ultraviolet radiation and health / A. J. McMichael et al. // *Climate change and human health*. 2010. P. 159–180.
6. Muller R. Stratospheric ozone depletion and climate change. RSC Publishing, 2012. 346 p.
7. Syvorotkin V. L. On the nature of natural fires // *Space and Time*. 2016. Vol. 11. No. 1. P. 22–44.
8. Syvorotkin V. L. Volcanic Eruptions // *Space and Time*. 2017. No. 1 (27). P. 196–213.
9. Syvorotkin V. L. Earthquakes // *Space and Time*. 2011. No. 2 (4). P. 124–137.
10. Newman P. A. Stratospheric Ozone. NASA, 2003. 480 p.
11. Hrgian A. H. Physics of atmospheric ozone. Leningrad, 1973. 292 p.
12. Dessler A. The Chemistry and Physics of Stratospheric Ozone. Academic Press, 2000. 520 p.
13. Mohanakumar K. Interaction of the Stratosphere and the Troposphere. Moscow, 2011. 451 p.
14. Syvorotkin V. L. Degassing Concept of Global Catastrophes // *Biosphere Compatibility: Human, Region, Technologies*. 2024. No. 4. P. 2–11.

15. Syvorotkin V. L. Degassing Concept of Global Catastrophes: Basic Provisions, New Results // *Voprosy Geografii*. 2019. No. 149. P. 35–51.
16. Syvorotkin V. L. Deep Earth Degassing and Volcanoes — Where Do Terrible Eruptions Come From? // *IA Regnum*. 2022. No. 1.05. P. 32–43
17. Time series of ODS based on information obtained by the OMI tool. URL: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/neubrew/SatO3DataTimeSeries.jsp> (accessed 13.03.2026).

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Холопцев Александр Вадимович**, д-р геогр. наук, профессор, профессор кафедры контрольно-надзорной деятельности Сибирской академии ГПС МЧС России (662972, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1); РИНЦ ID: 467295; ORCID : 0000-0002-8293-0062; e-mail: [khloptsev@mail.ru](mailto:khloptsev@mail.ru)

**Шубкин Роман Геннадьевич**, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры контрольно-надзорной деятельности Сибирской академии ГПС МЧС России (662972, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1); РИНЦ ID: 933202; Scopus AuthorID: 57219485391; SPIN-код: 9283-8798; ORCID: 0000-0002-7661-5162; e-mail: [rshubkin@yandex.ru](mailto:rshubkin@yandex.ru)

**Батуро Алексей Николаевич**, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры контрольно-надзорной деятельности Сибирской академии ГПС МЧС России (662972, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1); РИНЦ ID: 814934; Scopus AuthorID: 58045318600; SPIN-код: 6887-7568; ORCID: 0000-0002-0446-2814.

**Уколов Алексей Валерьевич**, канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры физической культуры и спорта Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22); РИНЦ ID: 739043; SPIN-код: 6041-2608; ORCID: 0009-0002-6906-4566; e-mail: [ukolovav@uigps.ru](mailto:ukolovav@uigps.ru)

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alexander V. Kholoptsev**, Dr. (Geogr.), Professor, Professor of the Department of Control and Supervisory Activities, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation (1 Severnaya Street, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai, 662972, Russian Federation); RSCI ID: 467295; ORCID: 0000-0002-8293-0062; e-mail: [khloptsev@mail.ru](mailto:khloptsev@mail.ru)

**Roman G. Shubkin**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Control and Supervisory Activities, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation (1 Severnaya Street, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai, 662972, Russian Federation); RSCI ID: 933202; Scopus AuthorID: 57219485391; SPIN-code: 9283-8798; ORCID: 0000-0002-7661-5162; e-mail: [rshubkin@yandex.ru](mailto:rshubkin@yandex.ru)

**Alexey N. Baturo**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Control and Supervisory Activities, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation (1 Severnaya Street, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai, 662972,

Russian Federation); RSCI ID: 814934; Scopus AuthorID: 58045318600; SPIN-code: 6887-7568; ORCID: 0000-0002-0446-2814

**Aleksey V. Ukolov**, Cand. Sci. (Pedag.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical Education and Sports, UISFS of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RSCI ID: 739043; SPIN-code: 6041-2608; ORCID: 0009-0002-6906-4566; e-mail: ukolovav@iugps.ru