

# Peculiarities of Changes of Temperature and Ozone in the Atmosphere during Seismic Events in the Middle East

*Valentin B. Kashkin, Tatyana V. Rubleva, Roman V. Odintsov  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

**Abstract.** According to satellite data, atmospheric disturbances over the aftershock fields of strong earthquakes with  $M = 7.3$  and  $M = 6.3$  were studied. A negative correlation was found between the series of temperatures in the troposphere and lower stratosphere in November-December during the preparation of seismic events in Iraq and Iran. In November 2017, with the warming of the troposphere, the total ozone (TO) decreased, and with a cooling of the lower stratosphere, the TO increased. In November 2018, the temperature rise in the troposphere and the TO in the lower stratosphere occurs synchronously.

*Keywords: satellite data, seismic processes, earthquakes, geoindicators, atmosphere, anomalies, temperature, ozone*

# ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ СЕЙСМОСОБЫТИЙ НА БЛИЖНЕМ ВОСТОКЕ

*Кашкин В.Б., Рублева Т.В., Одинцов Р.В.*

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

На основе спутниковых данных были изучены атмосферные возмущения над афтершоковыми полями сильных землетрясений с  $M=7.3$  и  $M=6.3$ . Обнаружена отрицательная корреляция рядов температуры в тропосфере и нижней стратосфере в ноябре-декабре при подготовке сейсмособытий в Ираке и Иране. В ноябре 2017 г. при потеплении тропосферы ОСО уменьшалось, а при похолодании нижней стратосферы – ОСО возрастало. В ноябре 2018 г. рост температуры в тропосфере и ОСО в нижней стратосфере происходит синхронно.

*Ключевые слова:* спутниковые данные, сейсмические процессы, землетрясения, геоиндикаторы, атмосфера, аномалии, температура, озон

**Введение.** При сейсмических процессах регистрируются различные геофизические проявления в атмосфере Земли над сейсмически опасными районами [1, 2]. В частности, во время сейсмических событий в атмосферных слоях происходит изменение метеорологических характеристик и резкое увеличение содержания газов, например, приземного озона [3]. Сейсмические события сопровождаются подвижками земной коры, которые возбуждают внутренние гравитационные волны в атмосфере [4]. Атмосфера является своеобразной «антенной», регистрирующей эти волны [5]. Изменяется температурное поле в тропосфере и нижней стратосфере, что может быть зарегистрировано с помощью сенсоров космического мониторинга. Реакцию атмосферы в виде различных аномалий можно рассматривать в качестве геоиндикаторов сейсмической активности.

Данное исследование посвящено изучению атмосферных возмущений над сейсмически опасными приграничными районами Ирака-Ирана, возникших при сильных коровых землетрясениях в конце 2017 и 2018 годов. Наиболее сильные из них были зарегистрированы 12 ноября 2017 г. в 18:18:17 UTC магнитудой  $M=7.3$  и 25 ноября 2018 г. в 16:37:32 UTC ( $M=6.3$ ) на северо-восточной границе Ирака-Ирана. Эпицентр первого землетрясения с координатами  $34.911^\circ$  с.ш. и  $45.959^\circ$  в.д. находился в 29 км к югу от Иракского г. Халабаджана. Эпицентр второго землетрясения был расположен в 15 км от Иранского г. Саре-Роле-Захаб, его координаты -  $34.361^\circ$  с.ш. и  $45.744^\circ$  в.д.

По данным [6], в ноябре-декабре 2017 г. в очаговой области Иракского землетрясения было зарегистрировано 56 сейсмособытий с  $M \geq 4.0$  и глубиной возникновения 7,6-19 км. В ноябре – декабре 2018 г. в очаге Иранского землетрясения произошло 18 сейсмособытий с  $M \geq 4.2$ , гипоцентры которых находилось на глубинах 10-18 км. Их афтершоковые поля пространственно накладывались друг на друга с временным сдвигом в 1 год и находились в зоне столкновения двух плит Аравийской и Евразийской.

**Исходные спутниковые данные.** Космические аппараты NOAA серии POES (Polar Orbital Environmental Satellites) с помощью аппаратуры ATOVS (Advanced TIROS Operational Vertical Sounder) позволяют получать вертикальные профили температуры и влажности в атмосфере [7]. В спектрометре OMI/AURA (Ozone Monitoring Instrument, KA AURA, USA) измеряется интенсивность уходящего солнечного УФ излучения и определяется общее содержание озона (ОСО) [8]. ОСО - это толщина слоя озона в вертикальном столбе атмосферы, выделенном при давлении 1013,25 гПа и температуре 288,15 К [3].

Спутниковые данные ATOVS и OMI имеют пространственное разрешение  $1^\circ \times 1^\circ$ . Информация по вертикальным профилям атмосферы представлена в [7], а по общему содержанию озона в [9]. Сформирован архив спутниковой информации, содержащий температурные профили на 18-ти изобарических уровнях от 1000 до 100 гПа и данные об ОСО.

**Методика исследования.** Наша методика анализа температурных профилей и вариаций озона по спутниковым данным обстоятельно описана в [3, 5]. В данной работе проводился корреляционный анализ температурных рядов в возмущенной тропосфере и нижней стратосфере во время сейсмических процессов в приграничных районах Ирака и Ирана в исследуемый период.

По модулю максимального коэффициента корреляции были выбраны наиболее информативные изобарические поверхности. В ноябре-декабре 2017 г. максимальный коэффициент корреляции между температурными рядами  $T_{300}$  на изобарическом уровне 300 гПа и  $T_{100}$  на уровне 100 гПа равен  $R_1 = -0.68$ . Для исследования возмущенной атмосферы над афтершоковым полем землетрясения с  $M=7.3$  выбраны изобарические поверхности в верхней тропосфере 300 гПа (высота  $h \sim 9$  км) и в нижней стратосфере 100 гПа ( $h \sim 16$  км). В целом, за исследуемый период с 1 ноября по 31 декабря в 2017 году, обнаружена отрицательная корреляция температуры в верхней тропосфере и нижней стратосфере. Это означает, что в верхней тропосфере и нижней стратосфере температура изменялась противофазно. Данный результат согласуется с выводами работы [10].

В ноябре-декабре 2018 г. максимальный коэффициент корреляции между рядами температур  $T_{450}$  на уровне 450 гПа и  $T_{200}$  на уровне 200 гПа составил  $R_2 = -0.62$ . В качестве изобарических поверхностей над афтершоковым полем сейсмособытия с  $M=6.3$  выбраны уровни 450 гПа ( $h \sim 6$  км, тропосфера) и 200 гПа ( $h \sim 12$  км, тропопауза).

Для выявления аномалий, возникших в тропосфере и нижней стратосфере при сильных землетрясениях над исследуемыми территориями, нами создавались цифровые карты температурных полей для возмущенных и фоновых атмосферных условий. По этим данным были построены разностные карты и отклонений изотерм в виде меридиональных разрезов. Фоновые температурные поля выбирались в тех же координатах и аналогичных изобарических уровнях, что и афтершоковые поля будущих сильных землетрясений с магнитудами 7.3 и 6.3. Для Иракского сейсмособытия использовалось поле температур за 12.11.2016 г. Для Иранского – за 25.11.2016 г.

**Вариации температур в тропосфере, тропопаузе и нижней стратосфере во время коровых землетрясений.** Для возмущенной атмосферы над афтершоковым полем Иракского землетрясения графики температурных рядов  $T_{300}$  и  $T_{100}$  показаны на рис. 1 с 1 ноября по 31 декабря 2017 г. Стрелками на рис. 1 отмечены некоторые даты произошедших сейсмособытий и их магнитуды. Среди них толчки 20 ноября с  $M=4.9$ , 26 ноября с  $M=4.6$ , 6 декабря с  $M=4.8$ , 11 декабря с  $M=5.4$ , 20 декабря с  $M=4.7$  и 26 декабря с  $M=4.5$  [6]. Обнаружено, что во время подготовки данных событий происходило понижение температуры на изобарическом уровне 300 гПа и ее повышение на 100 гПа.

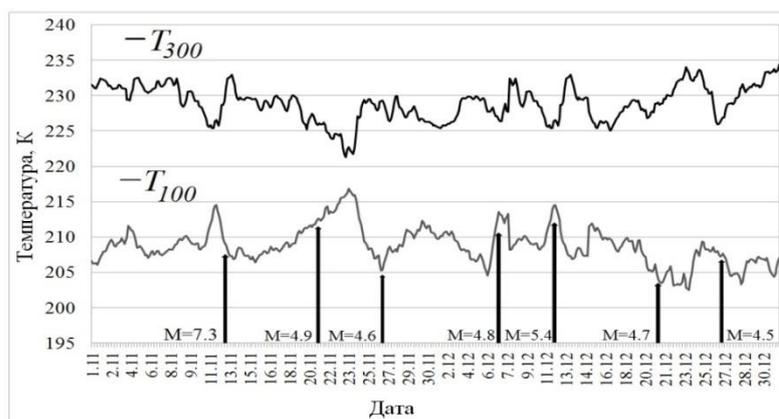


Рис. 1. Температурные профили на изобарических уровнях 100 и 300 гПа в ноябре-декабре 2017 г. над эпицентральной областью землетрясения  $M=7.3$

Графики температурных рядов  $T_{450}$  и  $T_{200}$  для ноября-декабря 2018 г. в условиях возмущенной атмосферы над афтершоковым полем Иранского землетрясения приведены на рис. 2. Стрелками здесь обозначены отдельные даты сейсмособытий и их магнитуды, а именно 5 ноября с  $M=4.2$ , 16 ноября с  $M=4.5$ , 8 декабря с  $M=4.7$  и 27 декабря с  $M=4.2$ . Во время подготовки указанных сейсмособытий обнаружено понижение температуры на изобарическом уровне 450 гПа и повышение  $T$  на 200 гПа, т.е. при сейсмических процессах в конце 2018 г. над афтершоковым полем Иранского землетрясения в тропосфере температура возрастала, а в этот период в тропопаузе она уменьшалась.

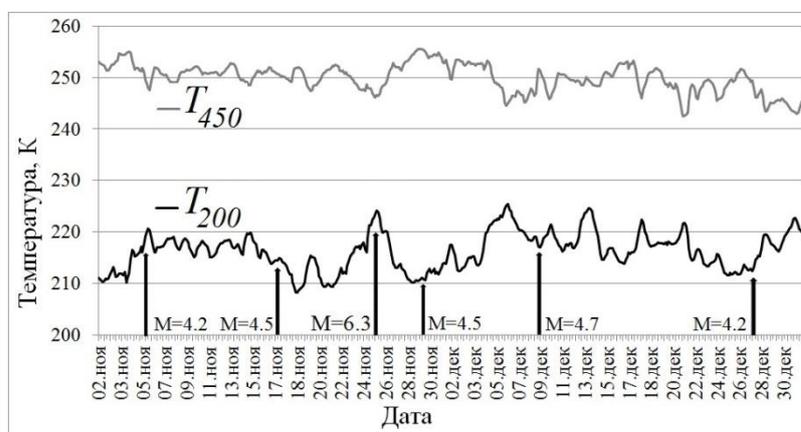


Рис. 2. Температурные профили на изобарических уровнях 450 и 200 гПа в ноябре-декабре 2018 г. над эпицентральной областью землетрясения  $M=6.3$

**Температурные аномалии в тропосфере, тропопаузе и нижней стратосфере.** Получены цифровые карты разности температурных полей и соответствующие ей изотермы. На цифровых картах, приведенных на рис. 3 и 4, можно увидеть существующие в этот момент температурные аномалии. Шкала отклонений температур  $\Delta T$  на всех рисунках показана с правой стороны. Эпицентры сильных землетрясений показаны жирными точками, их очаговые области – сплошной линией, а зоны подготовки – пунктирной линией. Температурное поле на рис. 3 показано в границах  $25-45^\circ$  с.ш. и  $34-60^\circ$  в.д. Температурное поле на рис. 4 имеет границы  $20^\circ - 44^\circ$  с.ш. и  $35^\circ - 55^\circ$  в.д.

На рис. 3, *а* шкала отклонений температур обозначена как  $\Delta T_{1-2}$ , где  $\Delta T_{1-2} = T_1 - T_2$ . Здесь  $T_1$  – значения температуры в возмущенных атмосферных условиях за 12.11.2017 г. на изобарическом уровне 300 гПа, а  $T_2$  – температура на этом же уровне для фонового режима за 12.11.2016 г. Аномальная область с отрицательными значениями температур  $\Delta T_{1-2}$  показана на рис. 3, *а*. Она ориентирована в широтном направлении на запад-восток. Аномалия имеет размеры 1140x2553 км.

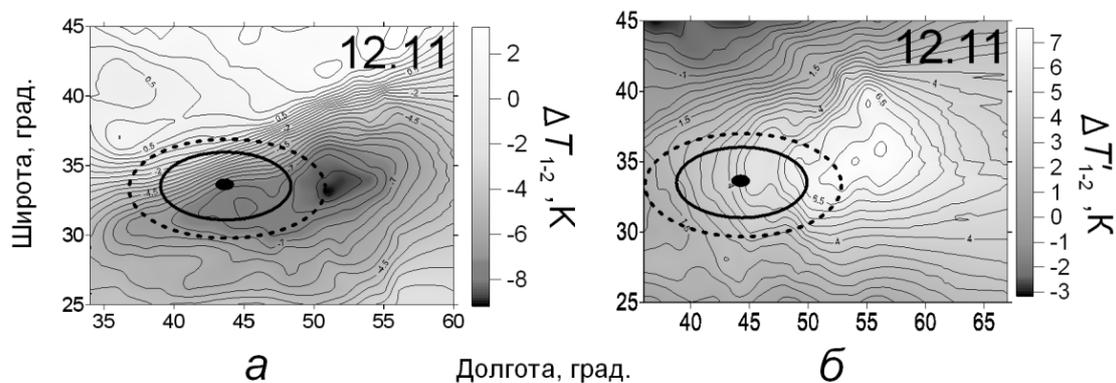


Рис. 3. Карты разности температурных полей и соответствующие ей изотермы за 12.11.2017 г. на уровнях 300 гПа (*а*) и 100 гПа (*б*)

На рис. 3, *б* шкала отклонений температур обозначена в виде  $\Delta T'_{1-2}$ , где  $\Delta T'_{1-2} = T'_1 - T'_2$ . Здесь  $T'_1$  – значения температуры в возмущенных атмосферных условиях за 12.11.2017 г. на изобарическом уровне 100 гПа, а  $T'_2$  – температура на этом же уровне для фонового режима за 12.11.2016 г. Аномалия с положительными значениями  $\Delta T'_{1-2}$  находится в нижней стратосфере (рис. 1, *б*). Она также ориентирована в широтном направлении на запад-восток. Ее размеры составляют 1004x2442 км.

На рис. 4, *а* шкала отклонений температур  $\Delta T_{3-4}$  задавалась как разность  $T_3 - T_4$ , где  $T_3$  – значения температуры в возмущенных атмосферных условиях за 25.11.2018 г. на изобарическом уровне 450 гПа, а  $T_4$  – температура на этом же уровне для фонового режима за 25.11.2016 г.

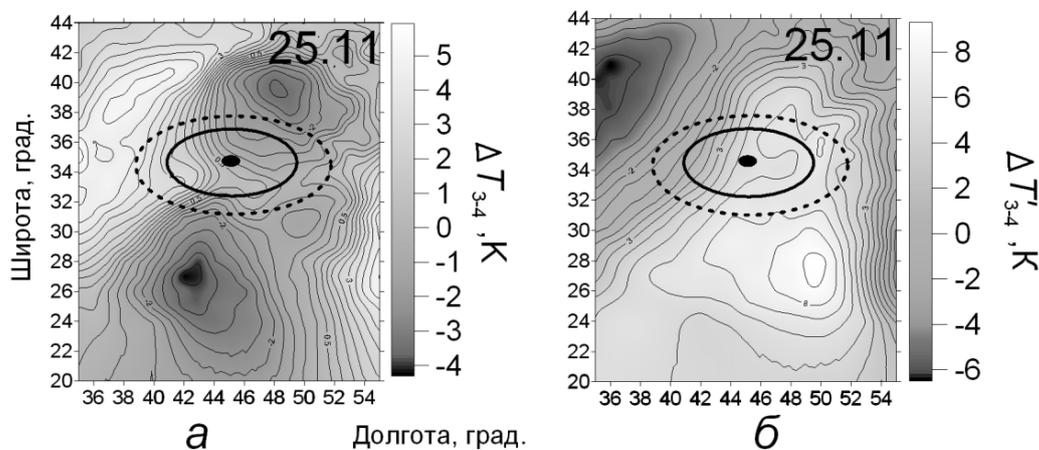


Рис. 4. Карты разности температурных полей и соответствующие ей изотермы за 25.11.2018 г. на уровнях 450 гПа (*а*) и 200 гПа (*б*)

На рис. 4, а видно, что эпицентр Иранского землетрясения, его очаг и область подготовки находятся между двумя тропосферными аномалиями с отрицательными значениями температур  $\Delta T_{3-4}$ . Ориентация этих аномалий меридиональная в направлении ЮЗ-СВ. По оценкам, размеры первой аномалии, расположенной в северной части цифровой карты, составляют 512x1110 км. Вторая аномалия находится в южной части карты в границах 1200x1110 км.

На рис. 4, б шкала отклонений температур  $\Delta T'_{3-4}$  задавалась как разность  $T'_3 - T'_4$ , где  $T'_3$  – значения температуры в возмущенных атмосферных условиях за 25.11.2018 г. на изобарическом уровне 200 гПа, а  $T'_4$  – температура на этом же уровне для фонового режима за 25.11.2016 г. На рис. 4, б видно, что эпицентр Иранского землетрясения, его очаг и область подготовки в зоне наибольших искажений изолиний температурного поля. Аномальная область на уровне тропопаузы ориентирована также по меридиану в направлении с юго-запада на северо-восток. Значения  $\Delta T'_{3-4}$  в аномалии положительные (рис. 4, б). Ее размеры составляют 1900x1332 км.

**Вариации озона и температуры во время сильных землетрясений.** Из температурного ряда  $T_{300}$  были выбраны значения температуры для момента времени 18<sup>h</sup>, т.е. за 18 минут до основного толчка  $M=7.3$ , для периода с 5 по 27 ноября 2017 г. Для этого периода, по данным OMI/AURA, были получены значения общего содержания озона над эпицентральной областью. Графики рядов ОСО и температуры  $T'_{300}$  на уровне 300 гПа приведены на рис. 5. Коэффициент корреляции между рядами ОСО и  $T'_{300}$  равен -0.74. В ноябре 2017 г. в период подготовки сейсмособытий афтершокового поля Иракского землетрясения обнаружено, что при повышении температуры в верхней тропосфере происходит уменьшение озона в нижней стратосфере.

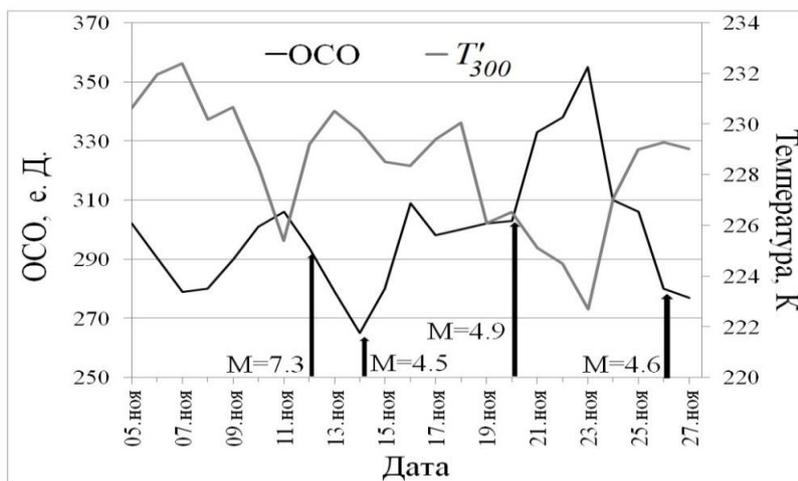


Рис. 5. Ряды температуры  $T'_{300}$  на уровне 300 гПа и ОСО в ноябре 2017 г.

Аналогичным образом из температурного ряда  $T_{450}$  были выбраны значения температуры для 18<sup>h</sup> в ноябре 2018 г. По озоновым данным OMI/AURA построены вариации ОСО за данный период (рис. 6). Здесь же показан график температурных профилей  $T'_{450}$  на изобарическом уровне 450 гПа. Коэффициент корреляции между рядами ОСО и  $T'_{450}$  положительный и равен 0.26. Следовательно, в ноябре 2018 г. при подготовке землетрясений

сейсмособытий афтершокового поля Иранского землетрясения рост температуры в тропосфере и общего содержание озона в нижней стратосфере происходит синхронно.

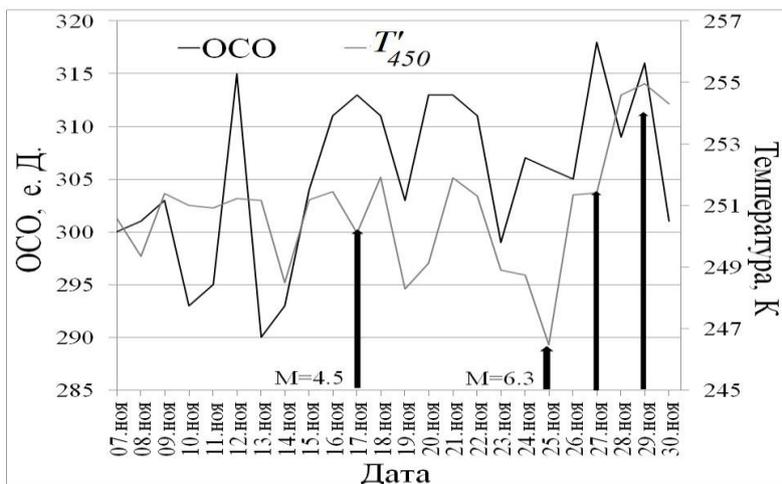


Рис. 6. Вариации ОСО и температуры  $T'_{450}$  на уровне 450 гПа в ноябре 2018 г.

Из рядов температуры  $T'_{100}$  на уровне 100 гПа и  $T'_{200}$  на уровне 200 гПа также были выбраны значения температуры для 18<sup>н</sup>. Графики рядов  $T'_{100}$  для ноября 2017 г. и  $T'_{200}$  для ноября 2018 приведены на рис. 7 и 8, соответственно. Здесь показаны вариации значений ОСО в ноябре 2017 г. (рис. 7) и 2018 г. (рис. 8).

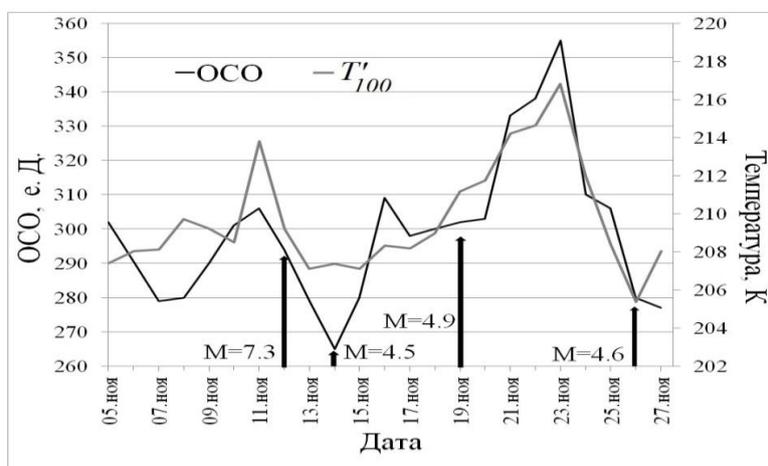


Рис. 7. Ряды температуры  $T'_{100}$  на уровне 100 гПа и ОСО в ноябре 2017 г.

Коэффициент корреляции между рядами ОСО и  $T'_{100}$  равен 0.84. С увеличением температуры в нижней стратосфере возрастет и общее содержание озона во время подготовки сейсмособытий в афтершоковом поле Иракского землетрясения.

Коэффициент корреляции между рядами ОСО и  $T'_{200}$  составляет -0.56. При подготовке сейсмособытий в афтершоковом поле Иранского землетрясения в ноябре 2018 г. температура на уровне тропопаузы и общее содержание озона в нижней стратосфере изменяются противофазно.

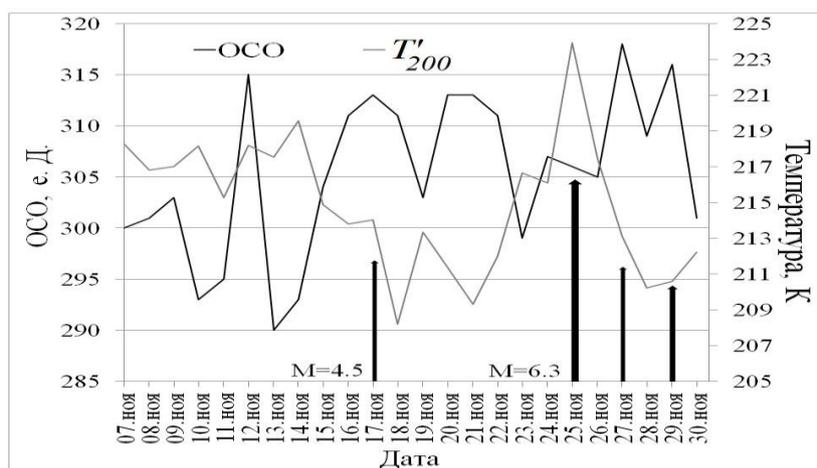


Рис. 8. Вариации общего содержания озона и температуры на уровне 200 гПа в ноябре 2018 г.

**Заклучение.** Изучены атмосферные возмущения на основе спутниковых данных над афтершоковыми полями сильных землетрясений с магнитудами 7.3 и 6.3. Сформирован архив спутниковой информации, содержащий значения температур для 18-ти изобарических уровней от 1000 до 100 гПа и данные ОСО. Исследованы возмущения температурных профилей в тропосфере, на уровне тропопаузы и нижней стратосфере над сейсмоактивными районами Ирака-Ирана, где были зарегистрированы коровые землетрясения. Обнаружена отрицательная корреляция рядов температуры в тропосфере и нижней стратосфере в ноябре-декабре 2017 и 2018 годов над афтершоковыми полями Иракского и Иранского землетрясений. Выявлено, что в ноябре 2017 г. потепление тропосферы сопровождалось уменьшением общего содержания озона, а похолодание нижней стратосферы - увеличением общего содержания озона. В ноябре 2018 г. рост температуры в тропосфере и ОСО в нижней стратосфере происходит синхронно. Однако, температура на уровне тропопаузы и общее содержание озона в этот период изменяются противофазно. Вероятно, это связано с не стационарностью исследуемых процессов.

Вариации температуры и общего содержания озона могут быть геоиндикаторами готовящегося сильного землетрясения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Гуфельд И.Л., Матвеева М.И., Новоселов О.Н.* Почему мы не можем прогнозировать сильные коровые землетрясения? // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Т. 2, № 4. С. 378-415. <https://doi.org/10.5800/GT-2011-2-4-005>.
- [2] *Пулинец С.А., Узунов Д.П., Карелин А.В., Боярчук К.А., Тertyшников А.В., Юдин И.А.* Единая концепция обнаружения признаков подготовки сильного землетрясения в комплексной системе литосфера-атмосфера-ионосфера-магнитосфера // Гелиофизические исследования. 2013. Т. 6. С. 81-90.
- [3] *Кашкин В.Б., Рублева Т.В., Хлебопрос Р.Г.* Стратосферный озон: вид с космической орбиты. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. 184 с.
- [4] *Кашкин В.Б.* Внутренние гравитационные волны в тропосфере // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 10. С. 908-916.
- [5] *Kashkin V. B., Rubleva T.V., Odintsov R.V.* Abnormal Geophysical Events in the Northern Hemisphere in 2010 and 2011 // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. 2018. V. 11, No. 8. P. 982-988.
- [6] United States Geological Survey (USGS). <http://www.usgs.gov> (дата обращения 25.01.2019).

- [7] NOAA. <http://www.arl.noaa.gov/ready/cmet.html>. (дата обращения 11.01.2019)
- [8] Ozone Monitoring Instrument (OMI) Data User's Guide. [https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/OMI/README.OMI\\_DUG.pdf](https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/OMI/README.OMI_DUG.pdf) (дата обращения 15.02.2019)
- [9] NASA. [Электронный ресурс]: URL: <ftp://toms.gsfc.nasa.gov>. (дата обращения 28.02.2019)
- [10] Зуев В.Е., Комаров В.С. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. Т. 1. 264 с.