



ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА" (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, природных и антропогенных объектов)

**Воронова О.С., Гапонова Е.В., Гапонова М.В., Зима А.Л., Феоктистова Н.В.,
Цидилина М.Н.**

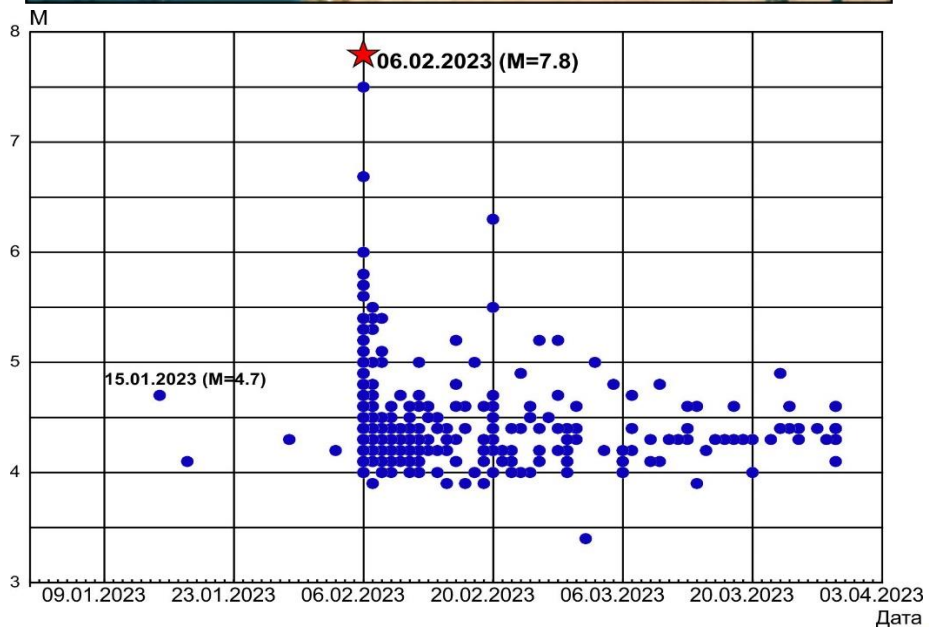
АНАЛИЗ АНОМАЛИЙ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТУРЦИИ В ФЕВРАЛЕ 2023 Г.

Исследование выполнено в НИИ «АЭРОКОСМОС» в рамках проекта №122011800095-3

**Россия, г.Москва, Гороховский пер., д.4, 105064
Тел.: 632-16-54, тел./факс: 632-11-78; E-mail:
office@aerocosmos.info**



РЕГИСТРАЦИЯ ИЗ КОСМОСА ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТУРЦИИ В ФЕВРАЛЕ 2023 г.

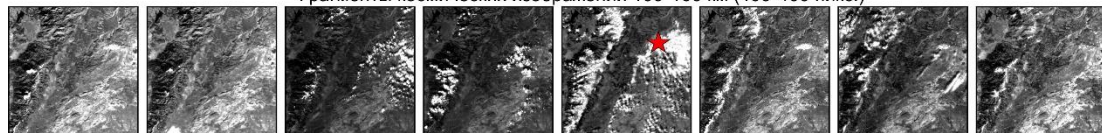




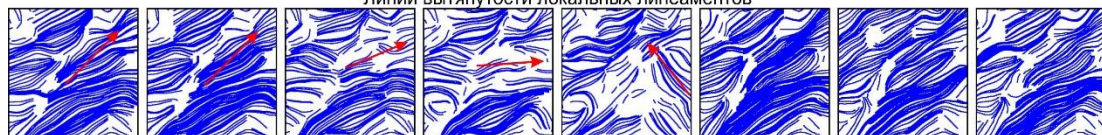
РЕГИСТРАЦИЯ ИЗ КОСМОСА АНОМАЛИЙ СИСТЕМ ЛИНЕАМЕНТОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТУРЦИИ В ФЕВРАЛЕ 2023 г.



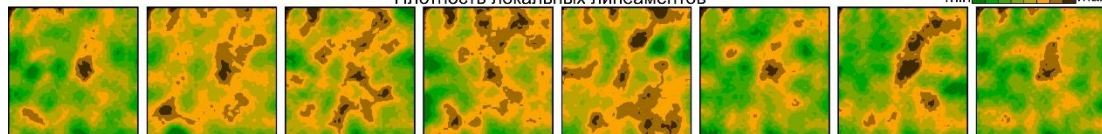
Фрагменты космических изображений 100*100 км (400*400 пикс.)



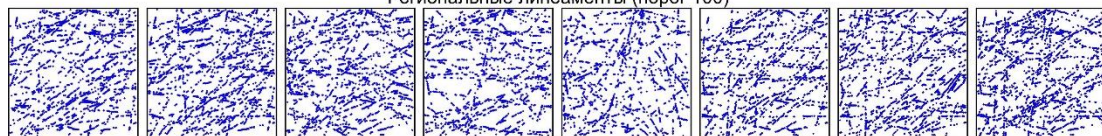
Линии вытянутости локальных линеаментов



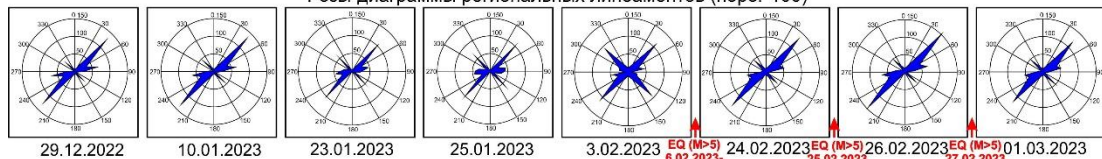
Плотность локальных линеаментов



Региональные линеаменты (порог 100)



Розы-диаграммы региональных линеаментов (порог 100)



Фрагменты спутниковых изображений, плотность и линии вытянутости локальных линеаментов, розы-диаграммы региональных линеаментов

На схемах линий вытянутости видно, что преобладающие направления линеаментов 45°, но за 14 дней до землетрясений (с 23.01.2023г.) они постепенно изменяли свое направление в сторону субширотных направлений. Увеличение плотности штрихов начиналось за 27 дней (с 10.01.2023г.), а максимум был зафиксирован за 3 дня (3.02.2023г.) до начала серии сильных землетрясений. Анализ роз-диаграмм показывает, что с 23 по 25 января 2023г. наблюдалось некоторое уменьшение лучей с направлениями 45°, а лучи, имеющие направление ЮВ-СЗ (315°), наоборот увеличивались, достигая максимального значения за 3 дня до землетрясений (3.02.2023г.).

Перестройка относительных значений длин линеаментов разных направлений начинается с 23 января 2023 года (за 14 дней до землетрясения M=7.8), которая достигает максимальных аномальных изменений 3 февраля 2023 г., то есть за 3 дня до землетрясений, произошедших 6 февраля 2023 г. с максимальной магнитудой 7.8.

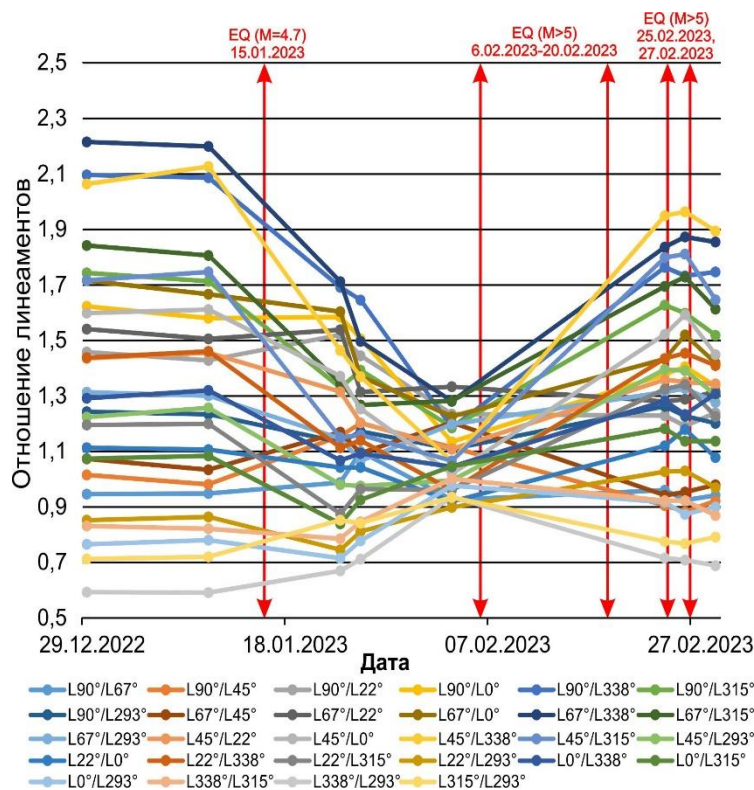
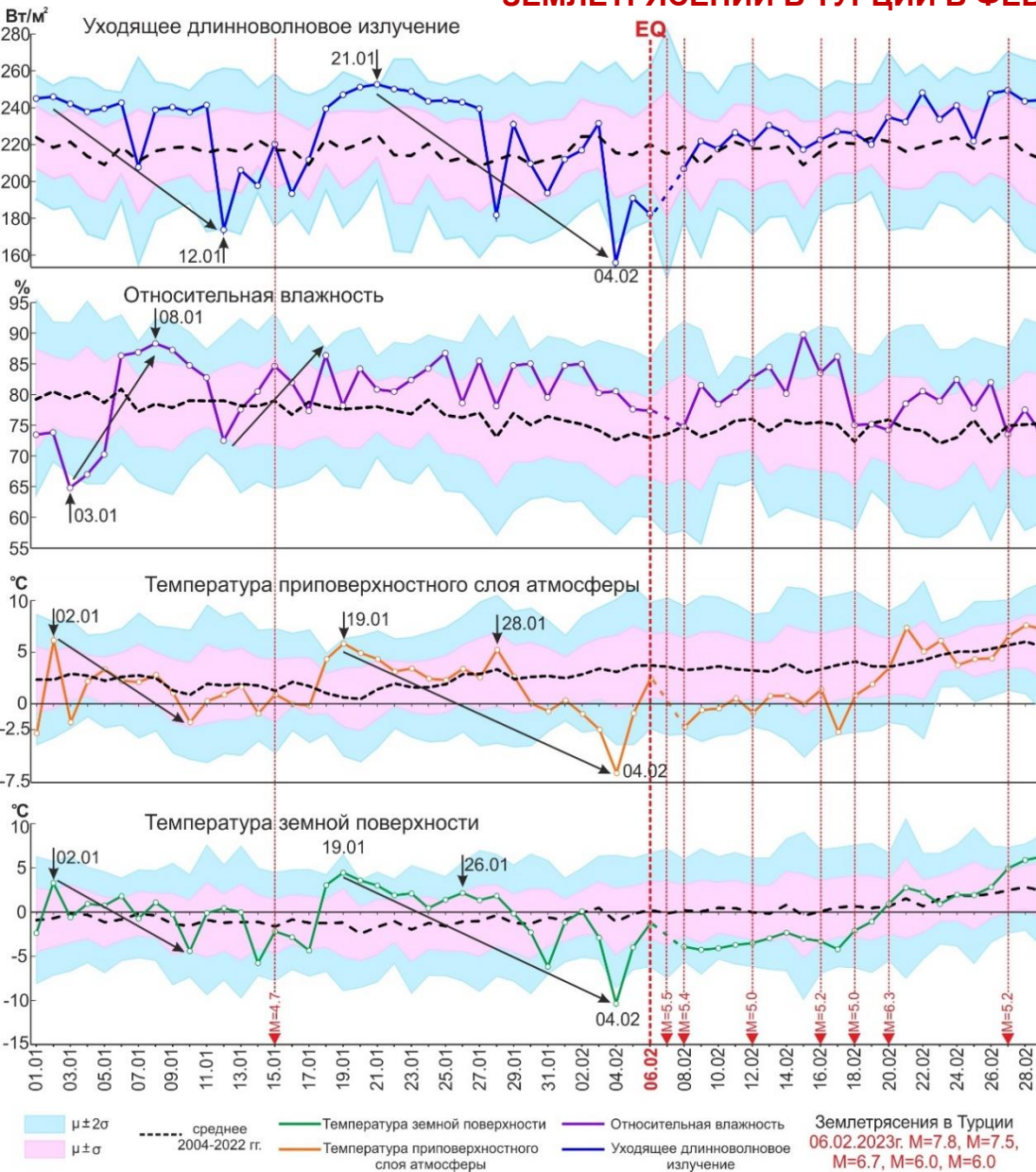


График отношений длин локальных линеаментов разных направлений

РЕГИСТРАЦИЯ ИЗ КОСМОСА АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУР, ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ И УХОДЯЩЕГО ДЛИННОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТУРЦИИ В ФЕВРАЛЕ 2023 г.



Анализ изменений уходящего длинноволнового излучения позволил выявить аномалии:

- с 2 января 2023 г. обнаружена тенденция к снижению значений на 72 Вт/м^2 ;
- с 16 января 2023 г. постепенный рост значений на 59 Вт/м^2 ;
- с 21 января 2023 г. наблюдалась тенденция к постепенному снижению значений на 96 Вт/м^2 .

Анализ изменений относительной влажности позволил выявить аномалии:

- 3 января 2023 г., в виде сильного понижения значений на величину до 65 %, выходящего за пределы интервала 2σ , далее выявлен рост значений на 24%;
- с 15 января 2023 г. наблюдались значения превышающие среднемноголетние (с 2004-2022 гг.).

Анализ изменений температур земной поверхности и приповерхностного слоя атмосферы позволил выявить аномалии:

- 2 января 2023 г. зафиксировано аномальное повышение на $3-6^\circ\text{C}$, затем снижение значений на $6-7^\circ\text{C}$;
- 19 января 2023 г. выявлено повышение на $4-5^\circ\text{C}$, далее тенденция к постепенному снижению на $11-14^\circ\text{C}$.

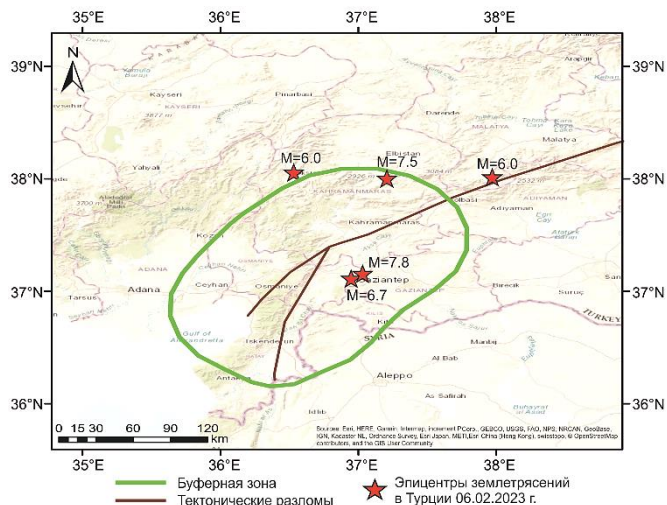
Перед главным сейсмическим событием 6 февраля 2023 г., выявлены аномальные изменения параметров такие как:

- понижение температур за 18 дней до землетрясения;
- повышенные значения относительной влажности за 19 дней до землетрясения;
- понижение значений уходящего длинноволнового излучения за 16 дней до землетрясения.

РЕГИСТРАЦИЯ ИЗ КОСМОСА АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТУРЦИИ В ФЕВРАЛЕ 2023 г.



Исследование динамики состояния аэрозолей в атмосфере в период подготовки и протекания землетрясений



При исследовании динамики состояния аэрозолей в атмосфере в период подготовки и протекания исследуемых землетрясений, использовался параметр аэрозольной оптической толщины (AOD) для зеленой полосы спектра электромагнитных волн (0.55 мкм), содержащийся в информационном продукте MCD19A2 уровня L2, который объединяет данные спутников Terra и Aqua (Lyapustin, Wang, 2018). По данным MCD19A2 были получены ежедневные средние значения AOD над сушей для территории исследования. Значения, рассчитанные на основе менее чем 1000 пикселей были отброшены как ненадежные данные. Недостаток данных обусловлен облачностью. В качестве области исследования была принята буферная зона шириной около 140 км вокруг линии разлома в районе эпицентра землетрясения.

За исследуемый период наблюдались в целом пониженные значения AOD относительно среднегодового значения за предыдущий 2022 г. Среднесуточные значения AOD, зарегистрированные 15 января и 28 января 2023 г., превысили предел в три стандартных отклонения 3σ от среднегодового значения (желтый фон). Из рисунка видно, что с 21 по 28 января 2023 г. в исследуемой области был выявлен стабильный рост значений AOD, достигший 28 января 2023 г. максимального значения (0.39), значительно выходящий за пределы 95% доверительного интервала ($\mu+3\sigma$).

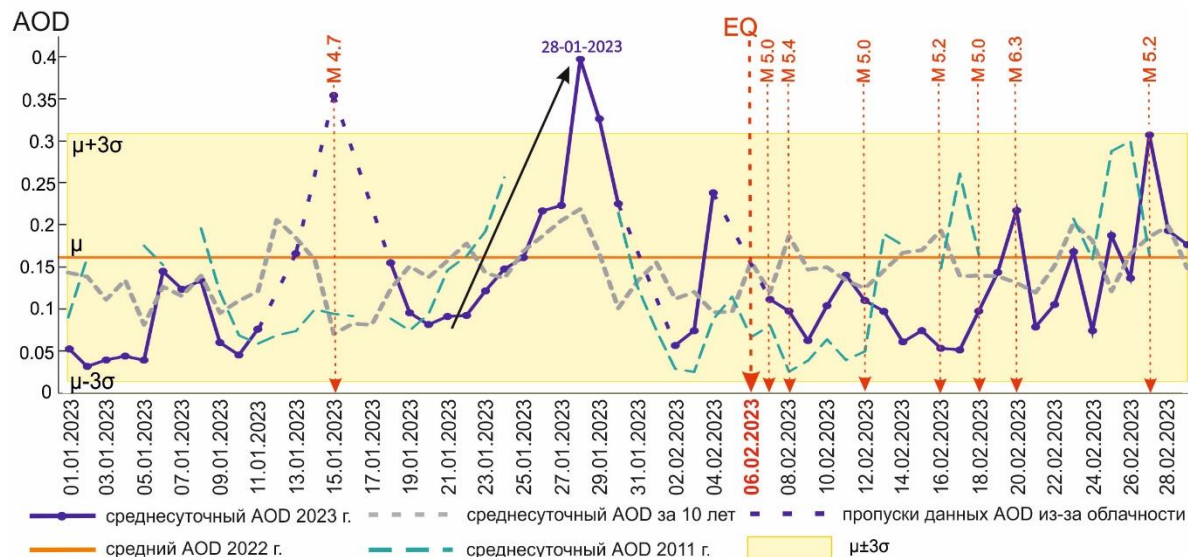
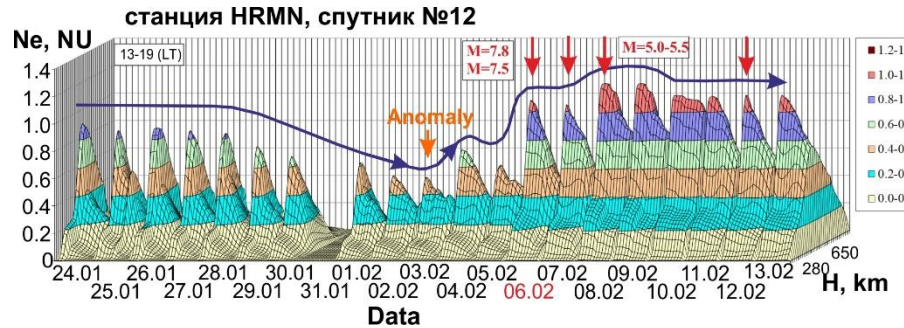
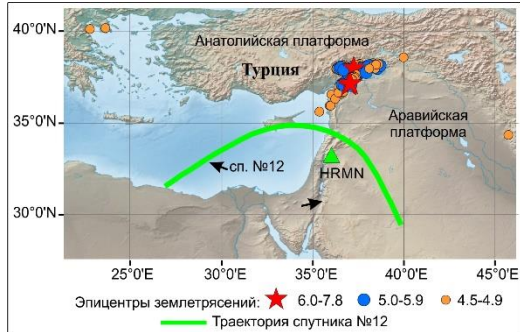


График показывает изменение среднесуточного значения AOD в районе исследования, для сравнения представлены также среднесуточные значения AOD за предыдущие 10 лет (серая пунктирная линия) и среднесуточные значения за фоновый 2011 год за этот же период (зеленая пунктирная линия).

РЕГИСТРАЦИЯ ИЗ КОСМОСА АНОМАЛИЙ ИОНОСФЕРЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТУРЦИИ В ФЕВРАЛЕ 2023 г.



Выявлены аномалии ионосферы в виде падения значений электронной концентрации ионосферы на ~20-30% 3 февраля 2023 г. (за 3 дня до землетрясения) и в резком возрастании значений на 30-42% 6 февраля 2023 г. (в первый день серии землетрясений).

Временной ряд высотного распределения электронной концентрации ионосферы с 24 января по 13 февраля 2023 г.

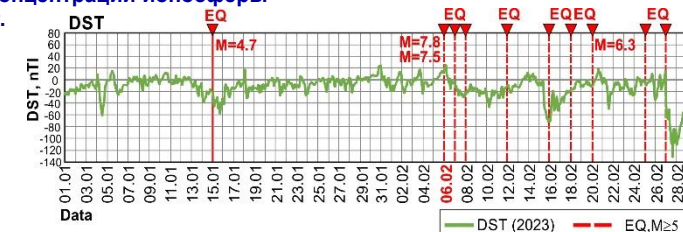
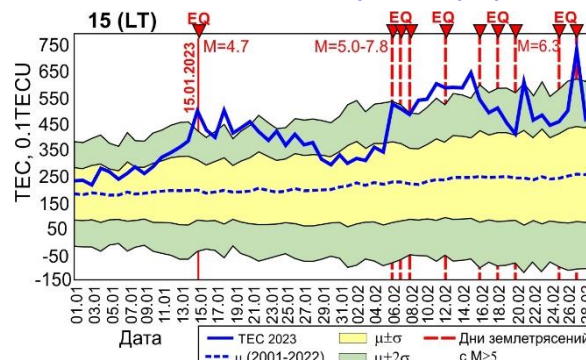
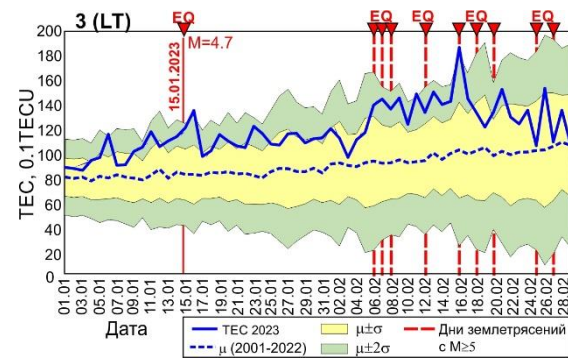
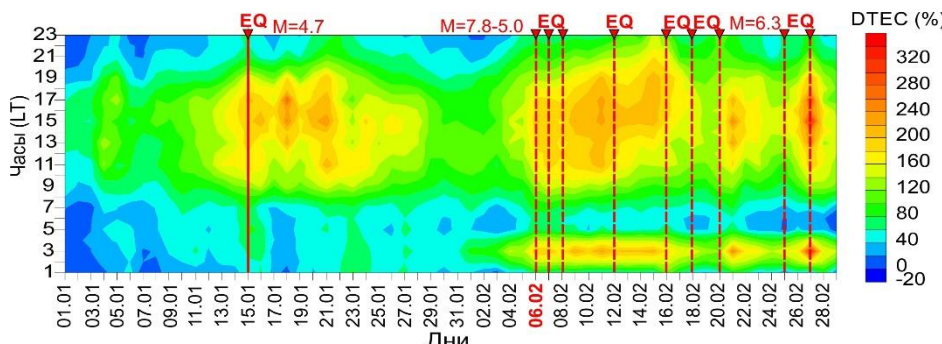


График изменений геомагнитного индекса Dst (nT)

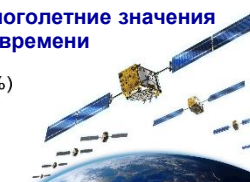
Временной ряд TEC (синяя сплошная линия) с 1 января по 1 марта 2023 г., средние многолетние значения TEC 2001-2022 г. (синяя пунктирная линия) для 3-х и 15-ти часов местного времени



Двумерное распределение DTEC (%) в период с 1 января по 1 марта 2023 г., рассчитанное относительно многолетних значений за предыдущие 22 года

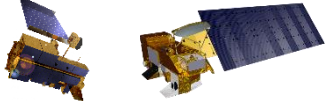


График изменений индекса солнечной активности F10.7

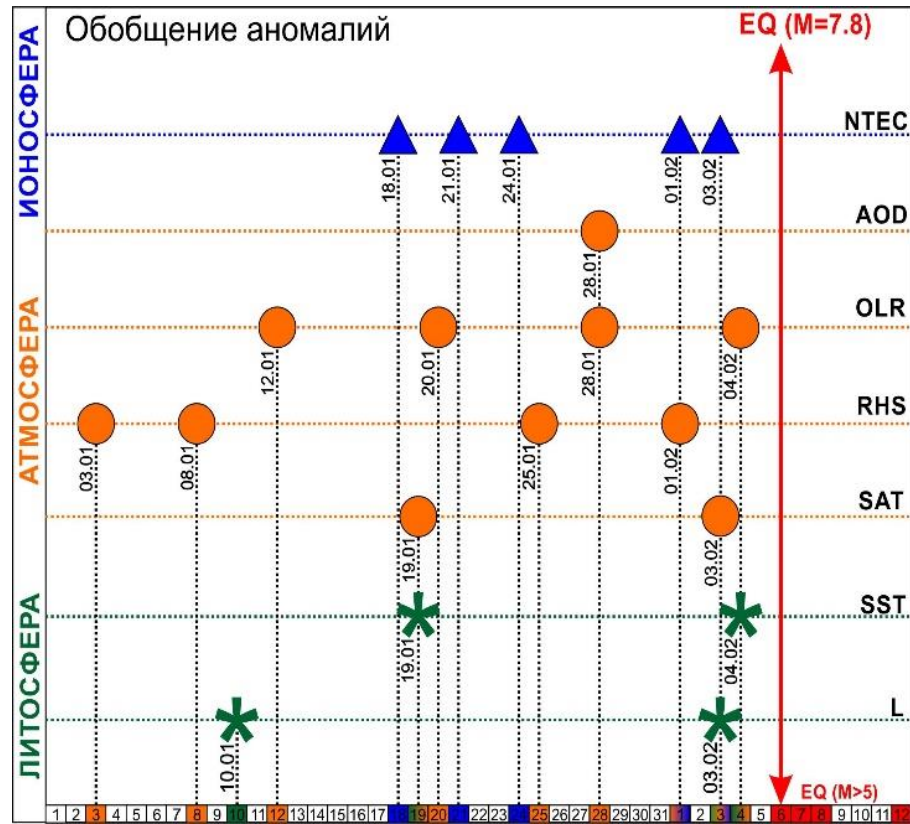
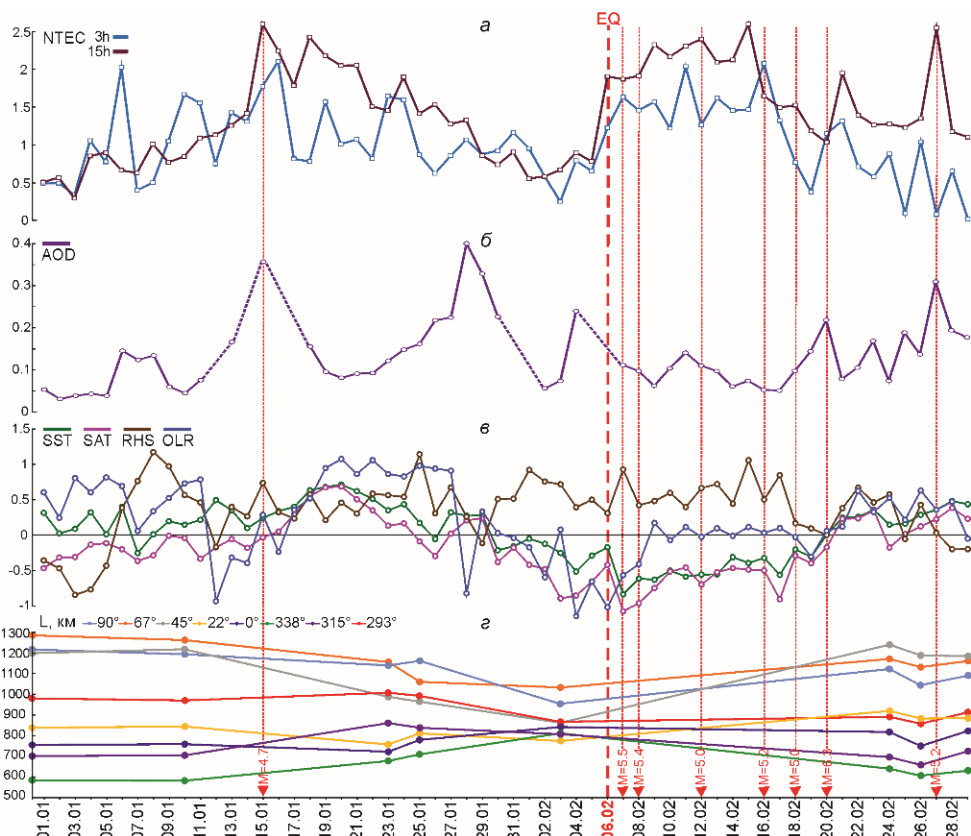


Аномалии TEC ионосферы в период подготовки сильных землетрясений в Турции были зарегистрированы:

- в дневное время в виде роста значений TEC с 18 по 21 января 2023 г. и в виде падения значений TEC с 29 января по 3 февраля 2023 г.;
- в ночное время 23 января 2023 г. в виде роста значений TEC и 3 февраля 2023 г. в виде падения значений TEC;
- резкий рост значений TEC 6 февраля 2023 г. (в день землетрясений с $M=7.8$, $M=7.5$).



СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



В исследуемый период можно выделить три основных временных промежутка появления аномалий: первый – за 34-25 дней до землетрясений (для систем линеаментов, уходящего длинноволнового излучения и относительной влажности); второй – за 19-9 дней до землетрясений (для температуры земной поверхности и приповерхностного слоя атмосферы, относительной влажности, уходящего длинноволнового излучения, аэрозольной оптической толщины, полного электронного содержания ионосферы); третий – за период от 5 до 2 дней до землетрясений (для систем линеаментов, температуры земной поверхности и приповерхностного слоя атмосферы, уходящего длинноволнового излучения, относительной влажности, полного электронного содержания ионосферы).