НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. С.У.УМАРОВА

На правах рукописи

ЛУГМОНОВА ШАФОАТ ОДИЛДЖОНОВНА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ, ОПТИЧЕСКИХ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ ПЕРЕД СЕЙСМИЧЕСКИМИ СОБЫТИЯМИ

25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук,
Абдуллаев Сабур Фузайлович

Душанбе -2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список основных сокращений и обозначений 4

ВВЕДЕНИЕ……..……...….5

ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР……..……..……12

1.1. Оптические и микрофизические характеристики атмосферного аэрозоля в Таджикистане 12

1.1.1. Параметры атмосферы……...…12

1.1.2. Изучение параметров AERONET в Таджикистане…...……...…13

1.2. Предвестники землетрясения……..……..……...….22

1.3. Методы прогноза землетрясения……..……..... 28

1.4. Закономерности проявления аномальных полей при сейсмической активности. Некоторые аспекты прогноза землетрясения..... 31

ГЛАВА II. МЕТОДИКА СБОРА ДАННЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ……36

2.1. Методика сбора данных и экспериментальная установка……..……...…36

2.2. Система сейсмологических и геофизических наблюдений Таджикистана……..…..40

2.3. Сбой функции температуры и давления атмосферы перед землетрясением……..……..…..43

ГЛАВА III. АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ, МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ГАЗОВОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ ПЕРЕД ПРЕДСТОЯЩИМ СЕЙСМИЧЕСКИМ СОБЫТИЕМ…… 52

3.1. Аномальное поведение аэрозольной оптической толщины перед предстоящим сейсмическим событием…….…….....52

3.2. Аномальное поведение АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля……..59

3.3. Аномальное поведение параметра Ангстрема перед предстоящим землетрясением……65

3.4. Аномальное поведение водяного пара в вертикальном столбе атмосферы перед сейсмическими событиями…..…..……..…...…..70
3.5. Изменение дисперсного состава атмосферного аэрозоля.……..…...…..76
3.6. Вариация атмосферных предвестников землетрясения по крупным сейсмическим событиям……...…85
Основные результаты и выводы…… …….....…… 98
Рекомендации по практическому использования результатов…….....….99
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…….....100
Список используемых источников……..…100
Список публикаций соискателя……...……...….....112

Список основных сокращений и обозначений

ПБ – пылевая буря.

ПМ – пылевая мгла.

ПВ- пылевой вторжения

ЦА - Центральная Азия.

АОТ - аэрозольная оптическая толщина.

ОСВП- общее содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы.

ФРЧПР – функция распределения частиц по размерам.

AERONET/Aerosol Robotic Network - аэрозольная сеть.

НАСА - Национальная администрация аэронавтики и космических исследований.

P_λ - прозрачность атмосферы.

S_λ^0– интенсивность светового луча до атмосферы.

S_λ – интенсивность светового луча проходивший через атмосферу

λ –длина волны излучения.

τ_λ – оптическая толщина.

$\alpha(\lambda)$- параметр Ангстрема.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Таджикистан находится в активной сейсмической зоне нашей планеты. На территории страны и сопредельных с ней государств регистрируется от 5000 – 26000 различной природы силы землетрясений. Только за период 2015 года, по данным полученным от Геофизической Службы НАНТ на территории Таджикистана, зарегистрировано 26000 землетрясений.

Учёные из многих стран прилагают большие усилия в изучении природы землетрясений и их прогноза [1-30]. К сожалению, до сих пор, за исключением нескольких случаев, предсказать время и место землетрясений ещё не удалось.

На первых этапах развития геофизических исследований на территории Средней Азии существовали несколько сейсмических опорных станций. В Таджикистане – г. Куляб, г. Хорог, г. Гарм, г. Мургаб, столичный Душанбе. В Узбекистане – г. Андижан, столичный Ташкент, г. Талгар. В Киргизстане – г. Нарын, столичный г. Фрунзе [6]. Надо отметить, что данные станции работали и развивались до первой половины девяностых годов и что число стационарных станций на территории Таджикистана составляло около 26 [8].

Территория Таджикистана входит в сейсмический пояс Альпийско-Гималайского тракта. В пределах этого тракта возникают очаги землетрясений. Этот пояс берёт своё начало в Альпах, проходит через Средиземноморье, задевает также территорию Таджикистана и заканчивается в Гималаях. Существуют две основные причины возникновения землетрясений. Первая причина связана с горно-образовательными процессами, которые особенно активны на территории, где есть молодые горные породы. Вторая причина объясняется существованием разломов земной коры, границами между геологическими структурными блоками и плитами. Сейсмические волны происходят в результате резких подвижек земной коры и воспринимаются нами как землетрясения.

Актуальность диссертационной работы заключается в том, что территория Таджикистана относится к одному из самых опасных с точки зрения сейсмологии регионов мира. Здесь на протяжении последних 100 лет

произошли три крупных катастрофических землетрясения. Это Каратагское землетрясение 1907 года, Сарезское землетрясение 1911 года и землетрясение в Хаите 1949 года. Сейсмический риск очень велик на территории Таджикистана и поэтому весьма актуальны проблемы мониторинга землетрясения, особенно попытки краткосрочного прогноза. Вероятные места возникновения возможных землетрясений на территории Таджикистана известны. Главная трудность - определить время возникновения конкретных подземных толчков и точные координаты предстоящих сейсмических событий. За последние десятилетия в формировании землетрясений стали известны многие закономерности и разработаны модели их подготовки. Всё это даёт основу в будущем прогнозировать это природное явление. Остаётся только организовать хорошую сеть наблюдений, с известными моделями, их стадиями, их признаками и возможными местами предстоящих землетрясений, чтобы выполнить вероятностный прогноз.

Актуальность диссертационной работы ещё заключается в том, что в последные десятилетия проблеме мониторинга и прогноза землетрясения в мире придаётся огромное значение для оповещения населения о надвигающейся катастрофе. Учитывая актуальность данной проблемы, создаются многочисленные мировые центры для мониторинга и прогноза землетрясения. В мировые центры информация поступает ежеминутно, так как приборами регистрируются миллионы землетрясений ежегодно на планете. Служба прогноза землетрясения необходима для успешного прогнозирования землетрясения с наличием цельной технологической системы сбора и обработки специфически колоссальной геофизической информации. Для этого необходимо создание большого количества станций сбора сейсмической (геофизической) информации, системы оперативного сбора информации на основе современных средств телекоммуникаций, мощных компьютерных средств обработки поступающих данных, систем моделирования, анализа выявления тектонического процесса на планете. Только в этом случае эксперты могут дать прогноз. Но до сих пор имеется лишь один успешный прогноз в

мире: 4 февраля 1975 г, в КНР, перед Хайченским землетрясением магнитудой 7.3 было спасено около 150-200 тысяч населения, покинувших свои дома.

Например, одна только международная Организация договор о всеобъемляющем запрещении ядерных испитаний (ОДВЗЯИ) имеет более 350 станций в различных зонах земного шара, которые используют различные методы с новейшим оборудованием для изучения, мониторинга и прогноза землетрясений в мире.

В настоящей диссертационной работе представлен эффект аномального поведения оптических и микрофизических характеристик атмосферы, газового состава атмосферы и дисперсного состава аэрозоля перед предстоящим землетрясениям или во время землетрясения по наблюдениям на станции АЭРОНЕТ в Душанбе. В [4,8] рассматривается явление, происходящее в атмосфере накануне землетрясения в его эпицентральной зоне и на некотором удалении от неё, обусловленное ионизирующим излучением из очаговой зоны. Авторами [4] предлагается метод прогнозирования землетрясения, основаны на обнаруженном явлении сбоя равновесного состояния функций температуры и давления от времени в атмосфере перед землетрясениями, который является существенным дополнением к известным в настоящее время методам [1-30]. Данный метод был отражён в [7] и развит в [8]. Аномальное поведение оптической толщины атмосферы перед сильными землетрясениями приведен в [9-12].

В настоящей работе предложен новый комплекс методов прогноза землетрясения, основанный на обнаружении аномального поведения аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы (прозрачности атмосферы), параметра Ангстрема, аэрозольной оптической толщи субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля и общего содержания водяного пара (ОСВП), изменения дисперсного состава аэрозоля перед сейсмическими событиями.

Цель работы. Исследование особенностей явления аномального поведения метеорологических, оптических и микрофизических характеристик,

связанных сейсмической активности, с целью их использования для краткосрочного прогноза землетрясений.

Основные задачи:

Изучить особенности поведения оптических и микрофизических параметров атмосферы связанных с сейсмическими событиями.

Исследование показали, что изменение оптических и микрофизических параметров атмосферы носит аномальный характер и проявляется за некоторое время до наступления сейсмического события

Реализация основной задачи предполагала определение:

Поведение АОТ (прозрачности атмосферы);

2.Вариация АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля;

3.Изменение параметра Ангстрема в атмосфере;

4.Вариация общего содержания водяного пара ввертикальном столбе атмосферы;

5.Изменение дисперсного состава атмосферного аэрозоля.

Объект исследования. Объектом исследования является атмосферный аэрозоль и его характеристики, который изучаются с помощью фотометра CIMEL CE–318B.

Обнаружено явление аномального поведения: прозрачности атмосферы (резкое изменение оптических и микрофизических параметров при отсутствии смены воздушных масс), аэрозольной оптической толщины (АОТ), параметра Ангстрема, АОТ крупнодисперсной и субмикронной мод аэрозоля, общего содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы.

Это изменение происходит одновременно с аномальным сбоем функции температуры и давления воздуха.

Обнаруженные аномалии позволят улучшить прогноз краткосрочного прогноза крупных (M>7) сейсмической событий.

Методы исследования. Анализ данных параметров атмосферы перед мощными сейсмическими событиями с станции АЭРОНЕТ, ближайших к эпицентру землетрясений.

Научная новизна работы:

1.Впервые показано, что изменения оптических и микрофизических характеристик атмосферы (Аэрозольная оптическая толщина, прозрачность атмосферы, общее содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы, параметра Ангстрема, АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля, распределение частиц атмосферного аэрозоля по размерам.) носит аномальный характер, связаны с сейсмическими событиями и наблюдаются до их наступления.

2. Показано, что аномальная вариация дисперсного состава атмосферного аэрозоля обусловлена доминирующей ролью процессов конденсации и испарения водяного пара в атмосфере стимулированных сейсмическими явлениями и проявляется до землетрясения.

3. Установлены физические причины, определяющие нарушение поведения функции температуры и давления атмосферы, которое может служить в качестве предвестника крупных землетрясений.

Теоретическая значимость работы: Установлено, что аномальное изменения оптических и микрофизических характеристик атмосферы (аэрозольная оптическая толщина, прозрачность атмосферы, общее содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы, параметра Ангстрема, АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля, распределение частиц атмосферного аэрозоля по размерам.) связано с усилением конденсации водяного пара под воздействием сейсмических событий.

Практическая значимость работы:

Полученные в работе экспериментальные результаты найдут применение при мониторинге и краткосрочном прогнозе землетрясения. Обнаруженные предвестники являются существенным дополнением к известным в настоящее время технологиям мониторинга сейсмической опасности.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Аномальный ход аэрозольной оптической толщины, параметра Ангстрема, АОТ крупнодисперсной и субмикронной мод аэрозоля, содержания

водяного пара в вертикальном столбе атмосферы обусловлен сейсмическими событиями и наблюдается до их наступления.

- Аномальная вариация дисперсного состава атмосферного аэрозоля обусловлена доминирующей ролью процессов конденсации и испарения водяного пара в атмосфере стимулированных сейсмическими явлениями и проявляется до землетрясения.
- Установлены физические причины, определяющие нарушение поведения функции температуры и давления атмосферы, которое может служить в качестве предвестника крупных землетрясений.

Достоверность полученных результатов обеспечивается наличием представительного массива экспериментальных данных, полученных с высокой степенью периодичности и статистической повторяемости результатов на ежегодно калибрируемом фотометре CIMEL CE-318B (Франция). С целью обеспечения гарантии надёжности (в надежность входит и ремонтопригодность и взаимозаменяемость и т.д.) получаемых результатов для физических экспериментов проводилось усреднение результатов измерений по стандартным методикам. Имеется соответствие между результатами измерений, проводимыми независимым образом, что подтверждает надёжность и достоверность разработанных методов исследования.

Апробация работы. Основное содержание результатов данного исследования обсуждались на семинарах Физико-технического института (Душанбе, 2016–2019): International Symposium KSCMBS’16 - September, 24–29, 2016; В материалах X–ой Международной конференции «Естественные и антропогенные аэрозоли», 21–25 мая 2016 г. – СПГУАП, РГО, Санкт-Петербург; в Материалах Международной конференции "Перспективы развития физической науки" посв. памяти (члена-корреспондента АН РТ , д.ф.-м.н., Хакимова Ф.Х. г.Душанбе, 14.04.2017 г.; Маводи конфронси илмӣ-анъанавии бахшида ба 20-солагии рӯзи ваҳдати миллӣ, 85-солагии ДДХ ба номи академик Б Ғафуров. Хуҷанд-2017; на Международной конференции «Актуальные проблемы современной физики», посвящённой 80-летию памяти

профессора Нарзиева Б. Н., 18 апреля 2018 года; на VI Международной конференции «Современные проблемы физики», посвящённой 110-летию академика АН РТ С.У. Умарова и 90-летию академика АН РТ А.А. Адхамова. (Душанбе, «Эр-граф»; 2018 г.); на Международной конференции STBTO, Вена 24–28 июня 2019г. на Международной научно-практической конференции “Перспективы развития науки и образования”, Душанбе, 20–21 ноября 2019 г.ТТУ им М.С.Осими; на Международной научно-практической конференции «Гидроклиматические факторы использования водных ресурсов Центральной Азии» 28–29 ноября 2019г.–ХГУ им. академика Бободжона Гафурова, г.Худжанд, на Республиканская научно-практическая конференция по теме Проблемы в разработке месторождений полезных ископаемых, Бустон 25 января 2020г., на VII Международной конференции «Современные проблемы физики», г.Душанбе, 9-10 октября 2020г. В материалах республиканской научно-практической конференции, посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук (Душанбе, 28 октября 2020 года) «Актуальные вопросы естественных наук и технологий» РТСУ.

Вклад автора. Автор непосредственно участвовала в проведении измерений метеорологических, оптических и микрофизических параметров атмосферы, в обработке полученных данных и анализе результатов экспериментальных исследований по аномальному поведению этих параметров атмосферы перед сейсмическими событиями. Основные результаты диссертационной работы, их интерпретация и соответствующие заключения выполнены автором лично.

Публикации. Материалы диссертационной работы опубликованы в 22 научных изданиях, в том числе из них -9 статей в реферируемых журналах ВАК РТ, 13 тезисов в Материалах международных и республиканских научных конференций.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и списка цитируемой литературы. Её общий объём составляет

115 страниц компьютерного текста, включая 97 рисунков, 3 таблиц и 124 библиографических ссылок.

Ключевые слова: мониторинг, температура воздуха, атмосферное давление, водяной пар, прогноз, метеорология, прозрачность атмосферы, оптическая толщина, параметра Ангстрема, аэрозоль, землетрясения, аномальное поведение, функция распределения частиц по размерам.

ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Оптические и микрофизические характеристики атмосферного аэрозоля в Таджикистане

1.1.1. Параметры атмосферы

В настоящей работе проведен исследования аномального поведения параметров атмосферы (прозрачность атмосферы, аэрозольная оптическая толщина (АОТ), АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции, параметр Ангстрема, содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы, функция распределения частиц по размерам (ФРЧР)) перед сейсмическими событиями.

Прозрачность атмосферы (P_λ), определяется как:

$$P_\lambda = S_\lambda / S_\lambda^0 \qquad (1.1)$$

где S_λ^0– интенсивность светового луча до атмосферы;

S_λ – интенсивность светового луча проходивший через атмосферу

λ –длина волны излучения.

Оптическая толщина атмосферы определяется

$$\tau(\lambda) = -\ln(P_\lambda) \qquad (1.2)$$

Другим, важным для нас параметром, является так называемый параметр Ангстрема характеризующей степень дисперсности частиц и определяемое формулой

$$\alpha = -\ln(\tau_\lambda / \tau_{\lambda 0}) / \ln(\lambda / \lambda_0) \qquad (1.3)$$

где λ_0=0.55мкм.

Длина волны λ_0=0.55мкм, соответствует середине спектра видимой области света. Следовательно, согласно (1.1) - (1.3) параметр Ангстрема показывает приведённую прозрачность или приведённую оптическую толщину, относительно середине спектра видимой области света.

Экспоненциальная функция Ангстрема описывает зависимость АОТ от длины волны излучения. Эта величина часто используется как указатель размера частиц аэрозоля. Значения с величинами больше, чем 2, указывают на малые частицы, связанные с побочными продуктами горения, а величины, менее, чем 1, указывают на крупные частицы пыли. В ясные дней параметр Ангстрема изменяется в пределе $\alpha(\lambda) = 0.5 - 1.4$. В Душанбе эти значения обычно находятся в области $\alpha(\lambda) = 0.2 - 0.8$. При вторжении пыльной мглы параметр Ангстрема находится в области $\alpha(\lambda) = 0.075 - 0.17$, т.е. в 7-8 раз меньше, чем в ясный день.

При пылевых вторжениях параметр Ангстрема близок к нулю, так как преобладают крупные частицы. При высокой концентрации аэрозоля параметр Ангстрема снижается до нуля, а в чистой атмосфере он близок к 2.

1.1.2. Изучение параметров AERONET в Таджикистане

Исследование оптических и микрофизических характеристик атмосферы в Таджикистане начаты с 1989 года в период советско-американского эксперимента по изучению аридного аэрозоля. В период с июля 2010 по сентябрь 2020 годов проводятся ежедневные измерения параметров аэрозоля на станции AERONET г. Душанбе.

На рисунке 1.1 представлены среднемесячные значения параметров атмосферы АОТ (рисунок 1.1а), АОТ субмикронной фракции (рисунок 1.1б) и АОТ крупнодисперсной фракции (рисунок 1.1в) на вес период 2010-2020гг. В периоды ежегодной калибровки фотометра во Франции измерения отсутствуют. Как видно из рисунка в летне-осенний период значение АОТ намного больше, чем в зимне-весенний период, что связано с загрязнения

атмосферы с пылевыми вторжениями. Среднемесячные значения АОТ (0.22-0.69) при среднем 0.39 указывают на значительное загрязнение атмосферы города Душанбе по сравнению с другими регионами, что возможно связано с рельефом местности, с наличием горных систем, окружающих столицу.

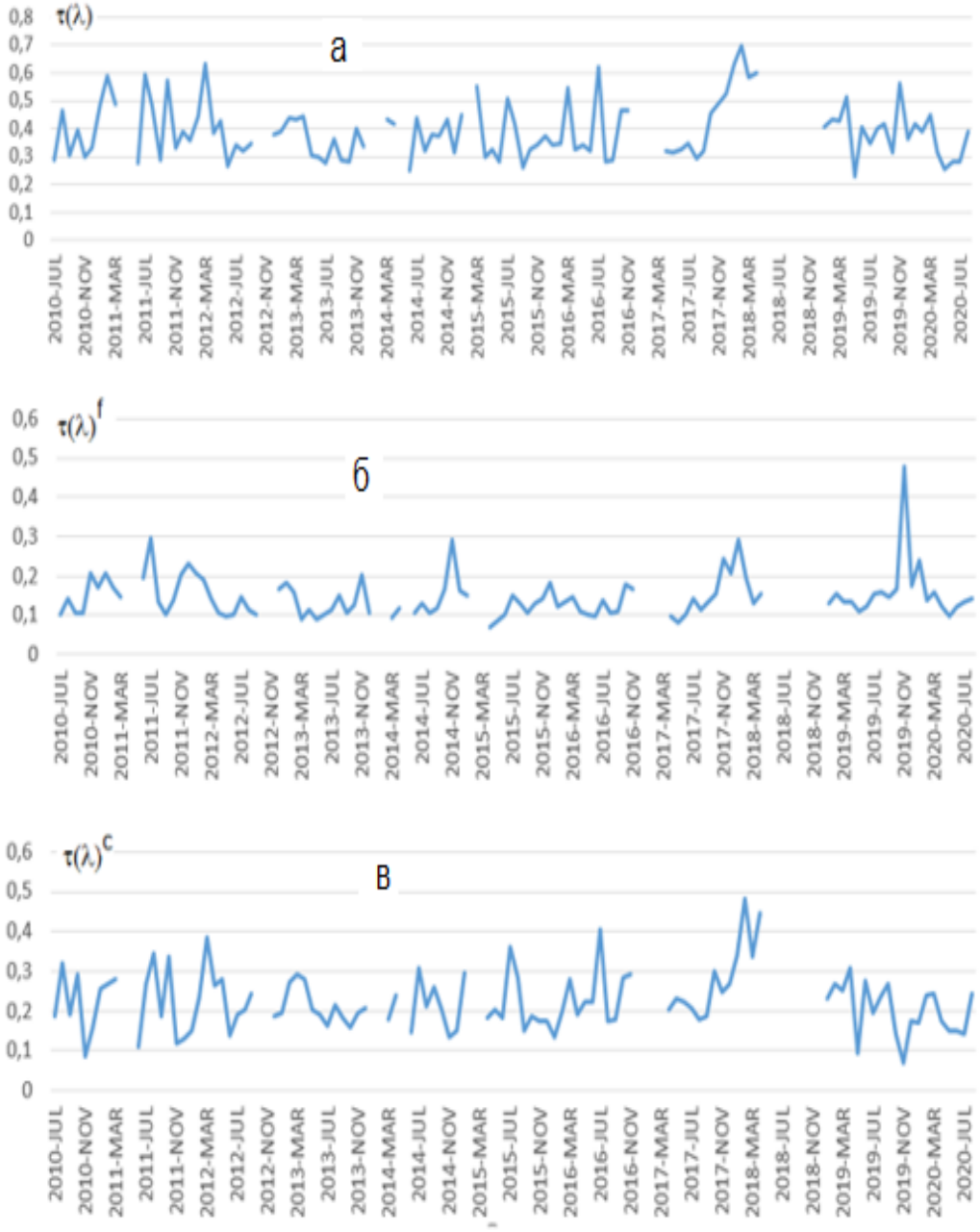

Рисунок 1.1 - Среднемесячные значения параметров атмосферы АОТ (а), АОТ субмикронной фракции (б) и АОТ крупнодисперсной фракции (в) за период 2010-2020гг.

На рисунке 1.2 представлены результаты измерения содержания водяного пара (рисунок1.2а) и параметр Ангстрема (рисунок 1.2б). Среднемесячное значение содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы варьируется в пределе 0.04-1.37 при среднем значений 1.70, при этом в теплом периоде обнаруживается ее высокое значение. Параметр Ангстрема варьируется в пределах 0.46-2.14 при среднем значений 1.20, при этом низкие значения соответствуют в периоды более загрязненной атмосферы

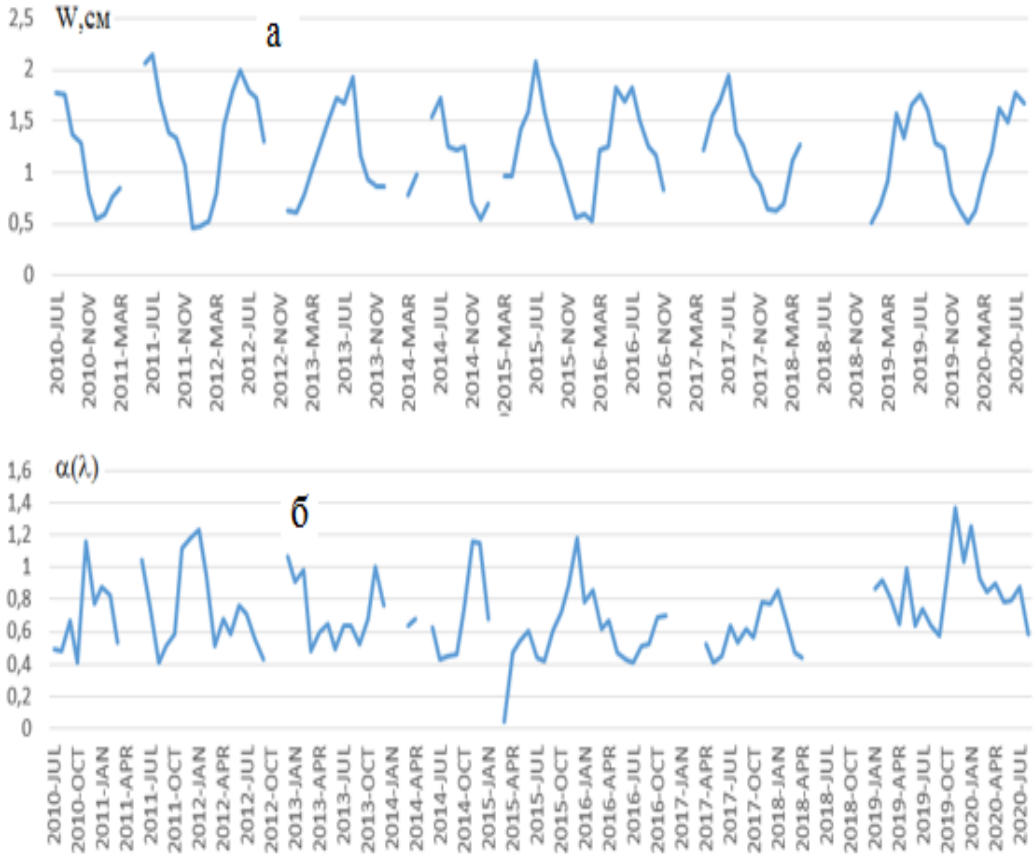

Рисунок 1.2 - Среднемесячные значения параметров атмосферы: содержания водяного пара в вертикальном столбе (а) и параметра Ангстрема (б) за период 2010-2020гг.

Ход АОТ даже для ясных дней может варьироваться:

1. АОТ монотонно растет с утра до вечера,

2. с утра рост и падение в середине дня и затем рост до вечера.

3. с утра АОТ растет до середины дня, а затем монотонно спадает до вечера.

Таким образом, фиксированного дневного хода оптической толщины нет, хотя в ясные дни преобладает дневной ход АОТ по сценарию 2.

В случае обычной атмосферы преобладает сценарий с максимумом АОТ утром, спад в середине дня и далее рост до вечера.

Дневной ход АОТ для сценария пылевого вторжения в зависимости от развития событий связанные с воздушными потоками могут быть изменены, в большинстве случаев аэрозольное загрязнения атмосферы продляться от 2- 8 дней в некоторых случаях и 15 дней.

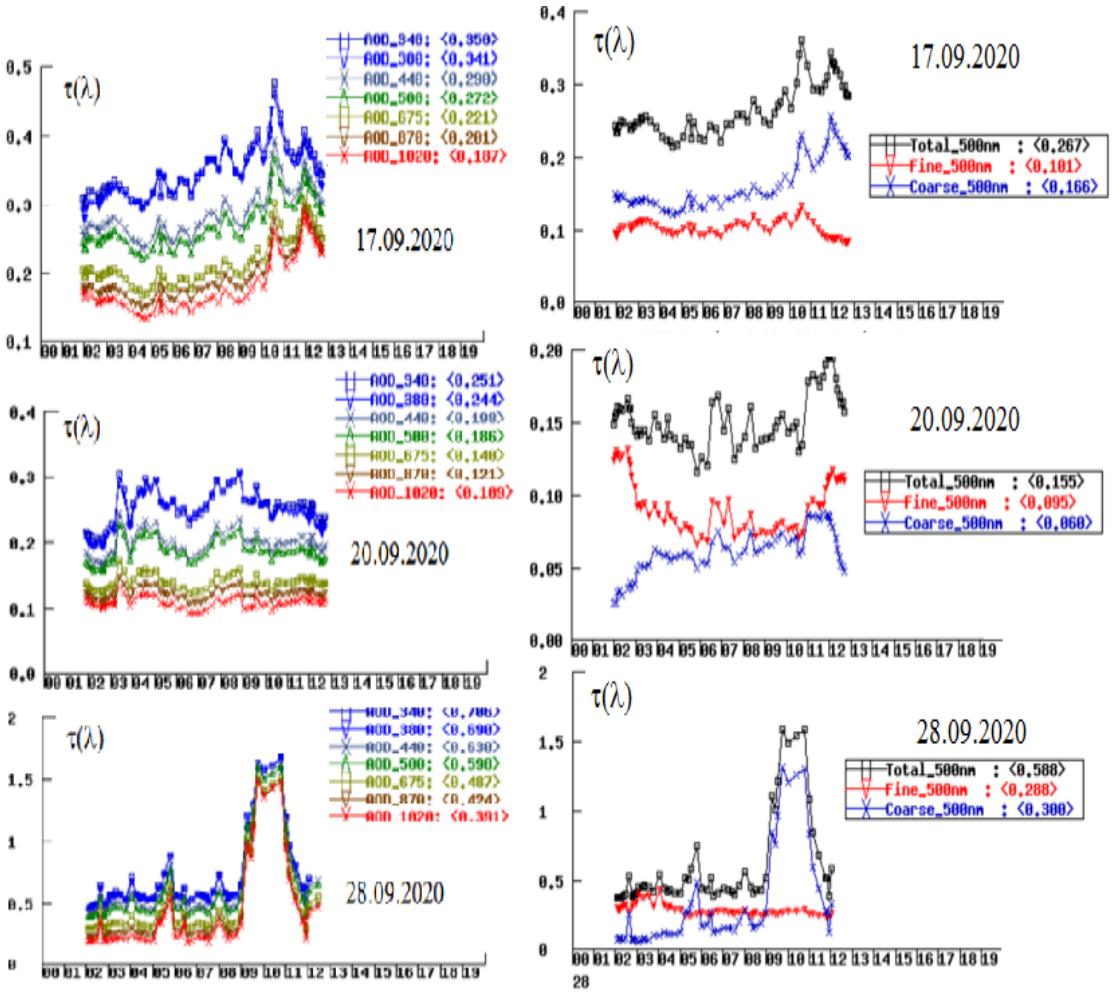

Рисунок 1.3- Спектральный ход АОТ и АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля для сценария чистого дня (20.09.2020г), пылевой мглы (28.09.2020) и обычной атмосферы, характерной для г. Душанбе (17.09. 2020г)

Водяной пар – основной парниковый газ. Он участвует и в ряде других процессов, что приводит к разным физическим следствиям. При испарении с поверхности Земли и конденсации в атмосфере, в тропосферу путем конвекции переносится до 40% тепла, поступающего в атмосферу. Поэтому испарение водяного пара понижает температуру поверхности. Выделившееся при конденсации тепло идет на разогрев атмосферы и поверхности Земли. При конденсации пара образуются водяные капли или кристаллики льда, которые рассеивают солнечный свет, отражая часть солнечной энергии назад в космос.

На рисунке 1.4 показан ход содержания водяного пара в атмосфере для сценария чистого дня (20.09.2020г), пылевой мглы (28.09.2020) и обычной атмосферы, характерной для г. Душанбе (17.09. 2020г).

Видно, что в обычной атмосфере наибольшее содержание водяного пара составляет 1.1-1.52 см, в чистой атмосфере 0.2-0.5 см, а при пылевой мгле содержание водяного пара составляет до 0.8-1.15 см.

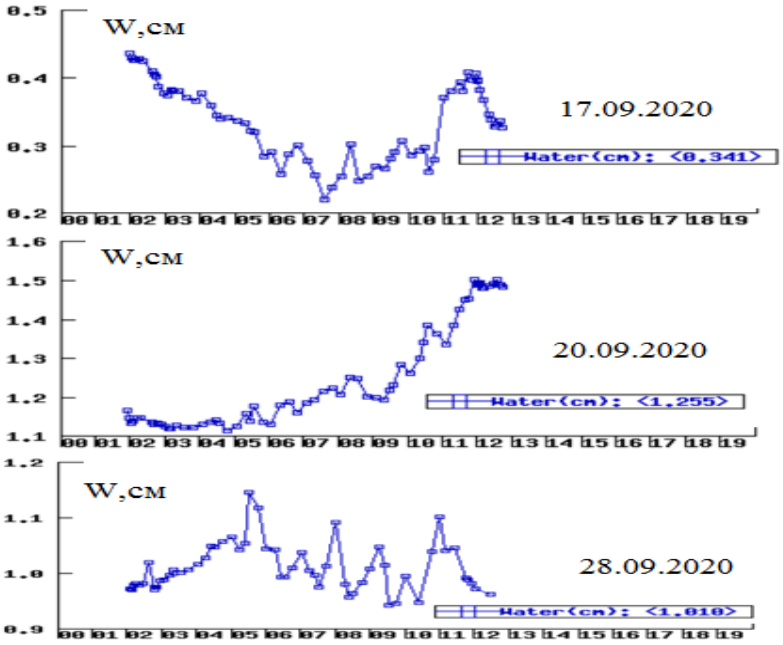

Рисунок 1.4 - Изменение содержания водяного пара в чистый день (20.09.2020г), при пылевой мгле (28.09.2020) и при обычной атмосфере г. Душанбе (17.09. 2020г)

При пылевой мгле происходит рост содержания водяного пара в атмосфере, а при повышении температуры содержание водяного пара в атмосфере растет, его парниковый эффект увеличивается, что усиливает первоначальное повышение температуры

Увеличивается облачность (0.4% на градус потепления), т.к. больше водяного пара попадает в более холодную часть атмосферы, это слабо сильно влияет на отражение солнечной энергии. При пылевой мглы параметр Ангстрема близок к нулю, так как в этом случае преобладают крупные частицы. В обычные дни изменение параметра Ангстрема находится в области 0.6-0.88, что свидетельствует о преобладании в атмосфере субмикронных частиц. При вторжении пылевой мглы, в частности 28.09.2020 г. параметр Ангстрема в области 0.1-0.5, что означает наличие крупнодисперсных частиц в атмосфере.

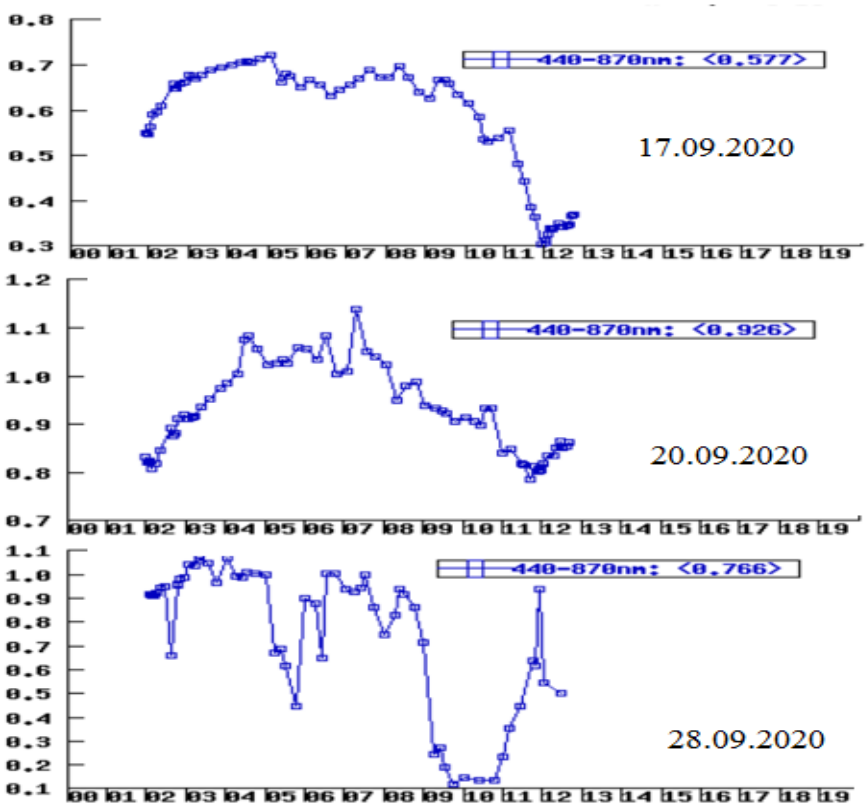

Рисунок 1.5 - Ход параметра Ангстрема в чистый день (20.09.2020г), при пылевой мгле (28.09.2020) и при фоновой запыленности атмосферы, характерной для г. Душанбе (17.09. 2020 г.)

ФРЧР имеет всегда бимодальный характер с максимумами в области 0.5-10 и 0.05-0.5 мкм (рисунок 1.6), причем разлаются дни с ясной погодой и с пылевой мглой. При пылевой мгле преобладают крупные частицы. При пылевом вторжении доля крупнодисперсной фракции постепенно возрастает с ростом АОТ, низкие значения параметра Ангстрема подтверждают наличие крупнодисперсных частиц.

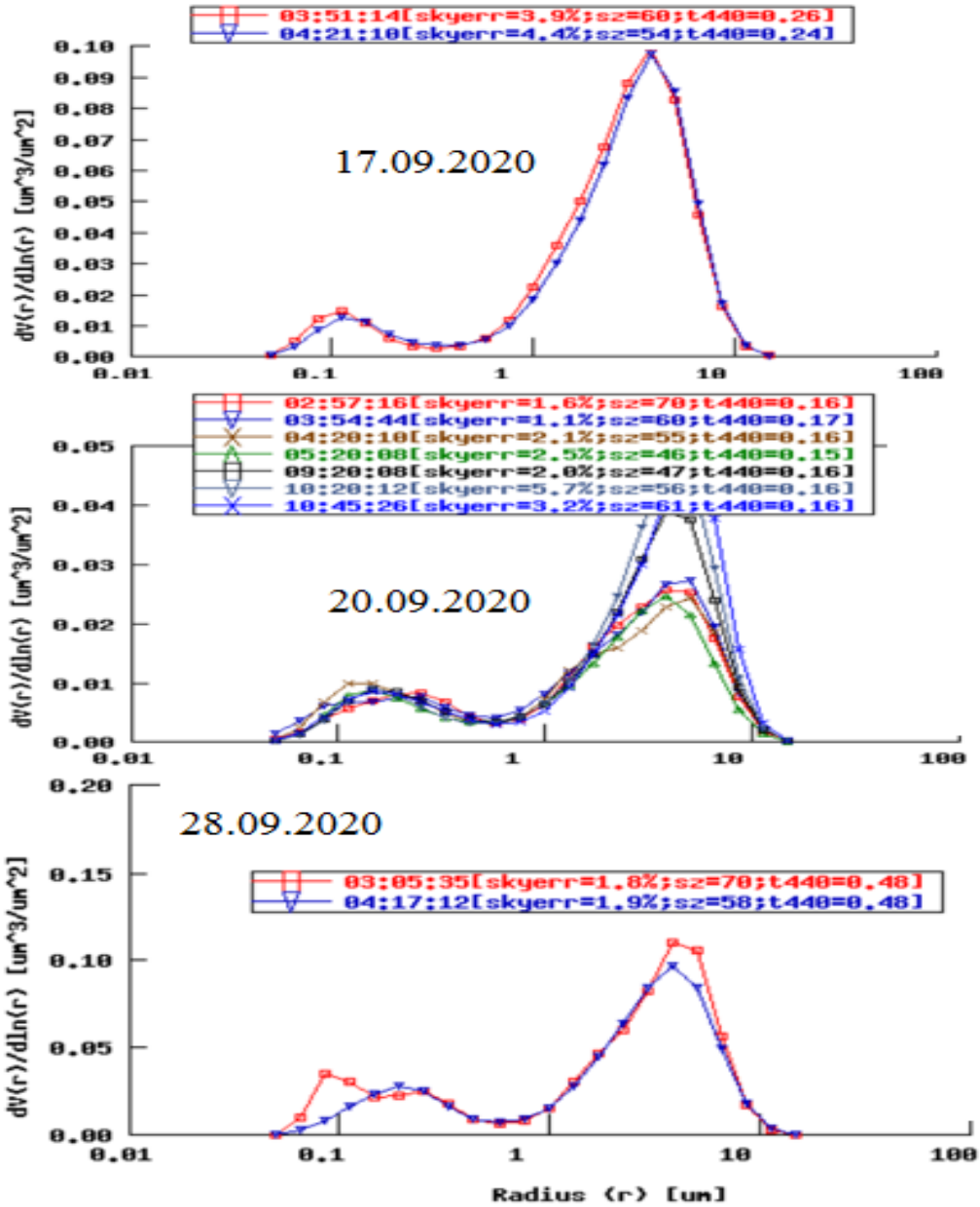

Рисунок 1.6 - Ход ФРЧР для чистого дня (20.09.2020г), пылевой мглы (28.09.2020) и фоновой атмосферы, (17.09. 2020г)

Выделяют следующие виды распределения частиц

-субмикронная фракция очень мала, остается только крупнодисперсная фракция

- преобладает субмикронная фракция;

преобладает крупнодисперсная фракция;

-почти одинаковая доля субмикронной и крупнодисперсной фракции

Существенное влияние аэрозоля на климат, прежде всего определяется комплексным показателем преломления частиц $m = n - i \times k$, который обуславливает соотношение между поглощаемой и рассеиваемой частицами радиацией. Показатель преломления аэрозоля является одним из важных оптических свойств.

На рисунке 1.7 приведены величины n (λ) для ясных и пыльных дней.

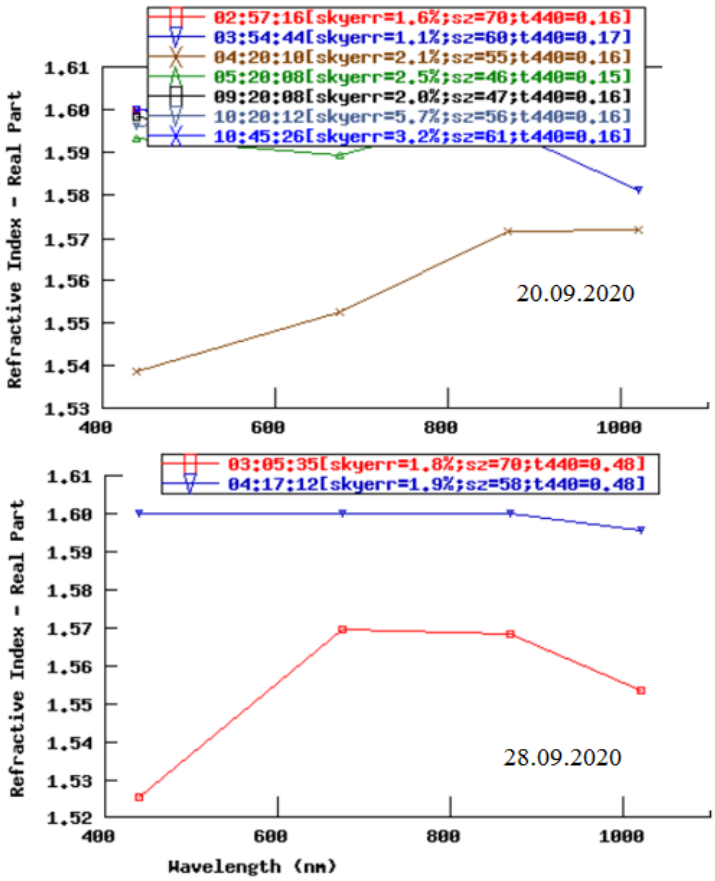

Рисунок 1.7 - Спектр показателя преломления частиц аэрозоля в чистый день (20.09.2020), при пылевой мгле (28.09.2020)

Мнимая часть комплексного показателя преломления *k* более изменчива, чем величина n, отражая высокую чувствительность коэффициента поглощения

k к химическому составу компонентов почвенно-эрозионного аэрозоля. Это проявляется и в зависимости величины *n*, от размеров частиц исследуемой фракции аэрозоля: спектральная зависимость величины *n* в диапазоне 400—1020 нм имеет тенденцию к росту показателя поглощения *k* в ближней УФ области при пылевой мгле,

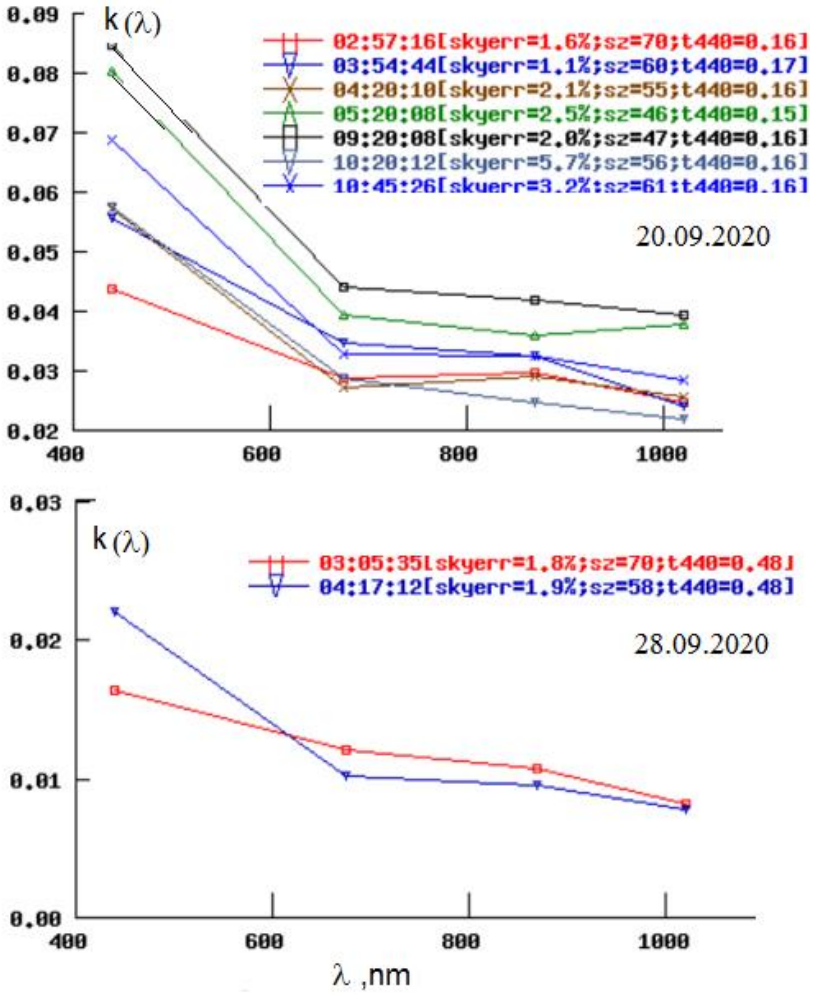

Рисунок 1.8 - Спектр показателя поглощения частиц аэрозоля для чистого дня (20.09.2020г) и пылевой мглы (28.09.2020)

Наши наблюдения сейсмической активности после пылевых вторжений в Таджикистане привели к мысли об изучении влияния сейсмических событий на атмосферные параметры.

1.2. Предвестники землетрясения

Ежегодно в мире происходят около миллион землетрясений, и почти 100 из них - разрушительные, которые приводят к гибели людей и значительным разрушениям городов. В таблице 1.1 приведены самые смертоносные землетрясения на Земле, жертвами которых стали более 2 млн. 830 тысяч человек.

Таблица 1.1 - Самые смертоносные землетрясения на Земле

№	дата	Место	Жертвы	Магнитуда	Комментарии
1	23.II. 1556г.	Шэньси, Китай	830 000	8.0	
2	28.VI.1976г.	Тян-Шань, Китай	655 000	8.2	
3	21.V.525г.	Антиохия, Византийская империя	250 000	8.0	Сведения: Прокопий
4	16. XII.1920г.	Нинся-Ганьсу, Китай	240 000	8.5	Вызвало много разломов и оползней
5	26 .XII.2004г.	Индийский океан, к северу от Суматры, Индонезия	230 210	9.3	Основной урон был вызван цунами
6	11 .X. 1138г	Алеппо, Сирия	230 000	8.5	
7	30.IX.1139г.	Гянджа,Арран (Азербайджан)	230 000	6.7	Образование озеро Гейкель.
8	12.I.2010г.	Порто-о-Пренс, Гаити	222 570	7	Ранения получил 194 000 человек.
9	22.XII.856г.	Дамган, Персия	200 000		
10	23.III. 893г.	Ардебиль, Персия	150 000		
11	01.IX.1923г.	Регион Канто, Япония	143 000	7.9	Великий пожар в Токио
12	28.XII.1908г.	Мессина, Италия	123 000	7.1	В Мессине было разрушено 93 %
13	06.XII.1948	Ашхабад, СССР	110 000	7.3	
14	31.XII.1703г.	Эдо (ныне Токио), Япония	108 800		Урон был вызван цунами
15	27.XII.1920г.	Нинчэн, Китай	100 000	6.8	

В таблице 1.2 приведены крупнейшие землетрясения в мире. В XX веке - землетрясение в Китае в 1920 г., жертвами которого стало более 200 тысяч людей, в Японии в 1923 г., унесшее жизни более 100 тысяч человек и в Гаити в 2010 г., жертвами которого стали 220тысяч человек, можно отнести к страшным землетрясениям. Бессильным оказался научно-технический прогресс перед грозной стихией землетрясения.

Таблица 1.2 - Крупнейшие землетрясения в мире

№	Дата	Место	Магнитуда
1	22 .05. 1960	Вальдивия, Чили	9.5
2	26 .12. 2004	Суматры, Индонезия	9.3
3	27 .03. 1964	Аляска, США	9.2
4	4 .11. 1952	Камчатки и Курилы, СССР	9.0
5	11 .03. 2011	Сэндей, Япония	9.0
6	25 .11. 1833	Суматра, Голландская Ост-Индия	8.8-9.2
7	31 .01. 1906	Колумбия и Эквадор	8.8
8	27 .02. 2010	Мауле, Чили	8.8
9	26 .01. 1700	Каскадные горы, Северная Америка	8.7-9.2
10	8 .07. 1730	Вальпараисо, Чили	8.7-9.0
11	1 .11. 1755	Лиссабон, Португалия	8.7
12	4 .02. 1965	Крысьи и острова, Аляска США	8.7
13	28 .03. 2005	Суматра, Индонезия	8.7
14	15 .08. 1950	Ассам, Тибет, Индия, Китай	8.6

В 1911 году была сформулирована первая программа по прогнозу землетрясений [33-34]. В этой программе отмечалась необходимость:

1) подробного изучения сейсмического режима и особенностей записи сейсмических колебаний; 2) исследования скоростей распространения сейсмических волн в сейсмоактивных зонах с целью оценки напряженного состояния; 3) проведения геодезического мониторинга для определения медленных деформаций земной коры; 4) постоянного гравиметрического измерения; 5) изучения состава сорбированных в земной коре газов, режима источников и скважин

В современных программах изучения предвестников землетрясений все эти

идеи находят свое отражение.

С целью предсказания землетрясений сейсмологами были исследовани связь предстоящего землетрясения с движением земной коры [35-37].

Геофизические сети, наблюдавшиеся из космоса и триангуляционной сети на поверхности Земли позволяют выявить крупномасштабные деформации поверхности Земли с помощью лазерных установок. Для того чтобы проводить повторные съемки необходимы большие затраты времени и средств, поэтому иногда возникают пропуски в несколько десятилетий. Но, такие изменения являются существенными индикаторами деформаций в земной коре [38-41].

В работе [13] рассматриваются проблемы наклона земной поверхности, деформации [14], скорости сейсмических волн [15], геомагнетизм [16-17], земное электричество [18-20], содержание радона в подземных водах [21-22], уровень воды в колодцах и скважинах [23-24], изменение температурного режима приповерхностных земных слоев [24], изменение химического состава вод и газов [25], поведение животных [26].

Многочисленные наблюдения [1-90] в сейсмоактивных регионах показали, что заблаговременно ряд сильных сейсмических событий сопровождается возмущением различных геофизических полей.

Суммарная статистика "предвестников" известна с выпуском радона или водорода [51-53].

На высотах до 1 км основным источником ионизации атмосферы является естественная радиоактивность Земли (радон). Плазмохимические реакции и создание ядер конденсации, процессы, сопровождающие ионизацию, в частности [54], непосредственно выявило формирование гидратной оболочки вокруг ионов, которое создается в результате ионизации.

Проблемы, связанные с вариацием ускорения сейсмических волн [55], электромагнитными полями (сейсмоэлектромагнетизм) [56], масштабными изменениями температуры почвы [57], изменениями в концентрации ионов в ионосфере [58-59], являются важными предвестниками.

В работах [60-62] описана методика восстановления полного электронного содержания ионосферы, а ионосферным исследованиям посвящены работы [63-64].

Задача прогноза землетрясений остается актуальной, так как количество эпизодов и наносимый ущерб год за годом увеличивается. Методы прогноза землетрясений были разработаны в ряде исследований [1-80]. Наибольшую известность приобрели методы краткосрочного прогноза, связанные с изучением скоростей сейсмических волн, наклонов и деформаций земной поверхности, геохимических параметров подземных вод и давления воды в скважинах, электромагнитных и акустических явлений в природе [65] и т.д.

В работах [1-80] разработаны различные методы по краткосрочному прогнозу землетрясения.

Авторами [4] предлагается метод прогнозирования землетрясения, основанный на обнаруженном явлении сбоя равновесного состояния функций температуры и давления от времени в атмосфере перед землетрясениями, который является существенным дополнением к известным в настоящее время методам [1-82]. Данный метод был отражен в [7] и развит в [8]. Аномальное поведение оптической толщины атмосферы перед сильными землетрясениями приведено в [9-11].

Известно, что усиленное облакообразование происходит из-за активизации разломов [67-68].

Аномальное понижение температуры начинается в зимние месяцы (декабрь, январь) также за 3 дня до землетрясения достигающее максимума в день землетрясения (до -4°C). Наблюдается повышение температуры на 2-3^{0}C за 9-10 дней до землетрясения [69-71].

Туманы, возможно, имеют радиационное происхождение, что нехарактерно и что требует обязательного их изучения, так как они могут иметь значение, как местные предвестники нарастающей сейсмоактивности [69].

На количественный и качественный характер изменения метеопараметров не в малой степени влияют геолого-геофизическое строения [69]. Возникает необходимость изучения метеопараметров атмосферы [69].

Автором [16] обнаружено «явление возникновения поляризационных аномалий электромагнитного поля над очагом землетрясения». Одним из признаков - предвестников готовящегося сейсмического события являются вариации поляризации электромагнитного поля, однако зарегистрировать этот эффект очень сложно.

Накануне сейсмического события наблюдается активная эманация радона из земной коры в атмосферу. В результате радиоактивного распада радона и ионизации молекул аэрозолей возникает электрическое поле в атмосфере. Молекула воды обладает постоянным некомпенсированным дипольным моментом. Электрический дипольный момент единицы объема воздуха с молекулами воды:

$$P = a_э N E$$

где $a_э$- коэффициент электрической поляризуемости молекул;

N - число частиц в единице объема;

E [в/м] - величина электрической напряженности возникающего поля.

Между поляризуемостью молекул и диэлектрической проницаемостью (ε) вещества существует зависимость:

$$(\varepsilon - 1) \cdot \varepsilon_0 \cong N\left(a_э + a_n + \frac{M_{дp}^2}{3kT^0}\right),$$

где

a_n - коэффициент ионной поляризуемости,

$M_{дp}^2$ - дипольный момент молекул,

$3kT^0$ - тепловая энергия молекул.

В оптическом диапазоне, на границе раздела двух сред, с коэффициентом преломления n_1 и n_2, происходит отражение светового потока:

$$K_{отр}=(n_2-n_1)/(n_2+n_1)$$

Коэффициент отражения является функцией коэффициента преломления, зависящего от первичных параметров среды: $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$, для воздуха μ=1, поэтому коэффициент преломления практически равен $n = \sqrt{\varepsilon}$. Электроны и атомы согласно классическим представлениям [17] совершают вынужденные колебания под действием световой волны. К зависимостям коэффициента преломления n от концентрации вторичных излучателей в воздухе приводит наличие собственной частоты атомов и молекул:

$$n \approx 1 + \sum \frac{N_i\, e}{\pi m_i c^2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\lambda_{0i}^2} - \frac{1}{\lambda^2}}$$

где

N_i - концентрация в воздухе вибраторов i -го сорта;

e - заряд электрона;

m_i - масса вибратора i -го сорта;

λ_{0i}- собственная длина волны излучения вибратора i -го сорта;

λ - текущая длина волны падающего светового потока.

Изменение оптической толщины атмосферы происходит за счет изменения коэффициента преломления и отражения падающего луча в области электростатической напряженности «купола» подготавливаемого землетрясения.

1.3. Методы прогноза землетрясения

Аномалии, на основе которых многими учеными в общем энергическом поле выделяются следующие методы: Геологические, геофизические, биофизические, гидрогеохимические; биологические, механические и сейсмологические [72].

Геологические методы. Геологический метод используется в изучении разломов и трещин рассмотрены в [72-74].

Геофизические методы. Геофизические методы основываются на изучениие физического состоянии коры и мантии сейсмоактивных регионов [75]. В последниые четверть века интенсивно изучаются тепловые потоки в земной коре, изменения химического состава воды и газа, виносимых на поверхность земли, используется как надёжный предвестник.

Гидрогеохимические методы изучают содержание радона, гелия, фтора, кремнистой кислоты и других элементов. Уделяется большое внимание содержанию радона, например, перед Ташкентским землетрясением 1966 года длительность этой аномалии составила 180дней [72-77].

Биологические методы. Землетрясениям предшедствуют необычное поведение домашних животных - собак, кошек, ослов, лошадей и диких животных - слонов, львов, крыс, рыб т.д. [72]. Изменение физических параметров среды происходит в области будущего очага землетрясения. Неординарное поведение животных означает необходимость изучение мест с частыми землетрясениями.

Подземному толчку предшествуют какие-то физические явления. Но если их чувствуют животные, то они могут быть зафиксированы и приборами [78-80].

Также есть механические предвестники, факт изменения расстояний как по амплитуде, так и по рельефау в плоскости [73,77].

Сейсмологические методы. Важнейшая задача сейсмологии - это выявление закономерности и периодичности данных событий, как для всей Земли, так и для сейсмоопасных районов всей планеты.

Биофизические методы. Согласно гипотезе аномальных проявлений геоплазмы разработан метод для регистрации аномальных проявлений геоплазмы Земли, суть которого приведен в [81]. Прогноз сейсмического события будет обычной реальностью, как и прогноз погоды как отмечают авторы.

Землетрясения - стихийное бедствие, которое происходит неожиданно. Во время сильных землетрясений происходят оползни, запруживаются реки, но такие явления относительно редки, горные обвалы, ограничены небольшими по площади, например, Сарезское землетрясение [78,79,82-85].

Землетрясения в Лиссабоне (1755), Сан-Франциско (1906), Мессианское (1908), Токийское (1923), Ашхабад (1948), только в течение последних 100-120 лет, подобных которым не было в античное время и в средние века [78,79,82,85] связаны с бурным ростом городов, во всех климатических поясах Земли.

В настоящее время прогнозы землетрясения делятся на прогнозы долгосрочные и на прогнозы краткосрочные [78,79,82,85].

Долгосрочный прогноз, плавно смыкающийся с задачами районирования является наименее дискуссионным [89]. Долгосрочный прогноз основывается в наблюдении за тем, как небольшие отдельные блоки постепенно отказываются от самостоятельности и объединяются в процессе подготовки одного мощного удара. Эти процессы могут дать сведения о подготовке землетрясения от нескольких месяцев до нескольких лет, о режимах землетрясений, т.е. о появлениях сейсмического застоя, изменением напряженного вещества литосферы и ее сейсмической прозрачности [86].

Возможность получения предупреждения сейсмического события за недели месяцы может дать среднесрочный прогноз. По данным текущих наблюдений за геофизическими полями, этот уровень предполагает сценарий развития процесса разрушений и изменений наклонов земной поверхности, режимных наблюдений за химическим составом водных источников водяных, нефтяных и газовых скважин. Между параметрами предвестников и

землетрясениями на основе эмпирических связей находится оценка места и магнитуды ожидаемого землетрясения [86].

Прогнозом с заблаговременностью в несколько часов или несколько дней-называют краткосрочным прогнозом. Почти все методы, описанные выше здесь сохраняют силу, особое внимание уделяется активизации процесса изменения напряженно-деформированного состояния [86].

Установлено, что раз в 100 лет будут происходить разрушительные землетрясения с магнитудой М= 8, а более слабые происходят раз в 20 лет. Для составления карт сейсмологического районирования это приблизительный прогноз с приблизительной оценкой повторяемости землетрясений, хотя такой прогноз полностью не решает проблему [87-90].

Скорость распространения продольных и поперечных волн меняется и меняются отношения их амплитуд скорости распространения упругих волн. Обнаружена закономерность: аномальное состояние длится дольше, если происходит сильное землетрясение [88].

Перспективно изучение вариации магнитного поля Земли. Постоянное магнитное поле Земли состоит из двух частей. Основная часть обусловлена процессом в земном ядре, вторая часть связана с горными породами, которые намагничились во время образования [91-93].

Слабые землетрясения возникают в местах, где были созданы крупные водохранилища. Горные породы оказывают давление на весь объём воды и тем самым создают условие для подземных толчков. Проникновение воды по трещинам на глубину также этому способствует, что облегчает смещение пород по глубинам [84,94-95].

1.4. Закономерности проявления аномальных полей при сейсмической активности. Некоторые аспекты прогноза землетрясения

Выделяются два основных направления в сейсмологии: первое, изучение законов распространения и действия сейсмических волн и второе, исследование природы самих землетрясений. Первое развивается успешно и в определении строения земных недр имеет крупные достижения, в частности, ориентировать поиски полезных ископаемых [3].

В [39,97, 102-103] анализировалось соотношение времени проявления различных предвестников и эпицентрального расстояния ($LgT = c\ LgR + d$; где c и d коэффициенты).

$$\mathrm{LgT} = aM + b\,LgR + c$$

Учитывая методологию выбора в [97] авторы приходят к выводу, что при наличии сейсмического процесса можно ошибочно принять за предвестник те или иные аномалии параметров среды. Заключительный вывод в работе [114]. Требуемое доказательство закладывалось в исходные предпосылки. Единственным доказательством было то, что аномалии предвестникового характера примерно совпадали по времени с конкретным сильным землетрясением, которое находилось на «разумном» расстоянии от пункта наблюдения [32,97].

В странах, подверженных сильным землетрясениям очень важно решить вопрос прогнозирования проведения исследования в области геологии и геофизики, что требует широкого комплекса изысканий по определению места и времени ожидаемой силы. К этим направлениям примыкает прогноз сейсмического воздействия на поверхность Земли. Мелкомасштабное и детальное сейсмическое районирование (ДСР) - это общая часть прогнозной проблемы с тем различием, что прогноз времени, места и силы является "динамическим", а районирование “статическим". В перспективе инженерные методы предотвращения - итоговое направление прогноза [1-4].

По 12-ти балльной шкале MSK-86 оценивается интенсивность, а магнитудой пользуется энергетическая классификация. Условно слабые 1-4 балла, сильные 5-7 и разрушительные 8 и более баллов.

Причиной землетрясения является быстрое смещение участка литосферы (литосферных плит) как целого в момент релаксации (разрядки) упругой деформации напряжённых пород в очаге.

При таком подходе к проблеме прогноза землетрясений объединяются все сейсмологические направления исследований, в том числе и те, которые занимаются изучением строения Земли, т.е. той средой, где возникают землетрясения.

Однако прогноз объединяет не только сейсмологию, но и целый ряд физических и геофизических направлений, поскольку собственно прогноз времени, места и силы землетрясений опирается в значительной степени на широкий фронт работ по изучению деформаций земной коры и связанных с ними электромагнитных и геохимических процессов [1-4].

Говоря о прогнозе землетрясений, невозможно рассматривать его без обширных теоретических и лабораторных экспериментов по моделированию сейсмических процессов на основе достижений современной физики и механики твердого тела, в частности физики разрушения, как основы понимания общих закономерностей физических процессов в очагах землетрясений.

Первым этапом прогноза можно рассматривать сейсмическое районирование, которое в рамках Институт физики Земли (ИФЗ) имеет длительные традиции. Практически вся деятельность института с момента его зарождения была связана с созданием методики районирования и ее совершенствования. За 50-летие существования ИФЗ каждые 10 - 15 лет создавались новые, более совершенные карты районирования, основанные на новых материалах наблюдений и развитии методов их обобщения [1-4].

Прогресс геофизических наблюдений оказался возможным за счет коренных изменений, произошедших в последние десятилетия в электронике, что позволяет создавать новые приборы с компактными датчиками в широком динамическом и

частотном диапазонах. Совершенствование аппаратуры, высокая стабильность, точность и экономичность, обеспечиваемые внедрением новых электронных устройств, а также стандартизация установок и автоматизация наблюдений и их обработки за счет внедрения в практику наблюдений ЭВМ позволяют считать сейчас реальными прямые задачи прогноза землетрясений, требующие высокой оперативности обработки данных. Нужно отметить, что и современные средства связи создают условия для оперативного сбора данных в общих центрах, их обработки и применения в этих центрах мощных вычислительных устройств [1-4].

Решение задачи совместного определения времени, места и силы землетрясения является основой собственно проблемы прогноза землетрясений.

Реализация прогнозных работ началась после Ашхабадского землетрясения (1948 г.) с работ в Гармском районе Таджикской ССР в 1949 г. Были начаты также работы на Северном Тянь-Шане и в следующем году в Туркмении. Этот первый этап исследований, основанный на традиционно сезонных кратковременных наблюдениях, достаточно убедительно показал, что получить устойчивые н значимые результаты можно только при наличии непрерывных наблюдений. Программа таких работ была сформулирована [116] в конце 1953 г. Со следующего года значительные силы Института сейсмологии были брошены на создание системы наблюдений, обеспечивающей непрерывность накопления данных в Гармском и Душанбинском районах. Выбор самого района определялся его высокой сейсмичностью (на материковой части СССР это самый высокоактивный в сейсмическом отношении район) [83].

Первая стадия этих работ, начавшихся в 1955 г., была связана с разработкой методик изучения слабой сейсмичности - определением положения очагов землетрясений с существенно более высокой точностью по сравнению с ранее применявшейся, массовой энергетической классификацией землетрясений, изучением сейсмического режима - закономерностей проявления сейсмического процесса во времени, частотного состава колебаний при землетрясениях разных энергетических классов с использованием землетрясений для изучения строения земной коры, изучением особенностей перехода от слабых землетрясений к сильным и др. Следует

отметить, что все эти работы были в сейсмологии новыми и именно на базе Гармских работ создавались методы детального изучения сейсмичности, нашедшие широкое применение в других сейсмоактивных районах. [83].

Этот первый этап, закончившийся в 1960 г., позволил получить ряд закономерностей сейсмических процессов и одновременно показал их временную вариабельность. Естественным следующим шагом исследований явилось изучение изменений сейсмических величин во времени, а также расширение наблюдений за другими геофизическими параметрами. Постановка прогнозной тематики в планах ИФЗ в начале 60-х годов способствовала более активному развитию прогнозных исследований. Необходимо отметить, что интерес к ним усилился после Ташкентского землетрясения 1966 г. и работ [117] на Дальнем Востоке по долгосрочному прогнозу [117,118].

Современный уровень знаний о физических свойствах земной коры, характере и интенсивности протекающих там процессов, еще далек от ясности. Это. естественно, создает значительные трудности в решении проблемы прогноза. Трудности усугубляются невозможностью постановки наблюдений в очаговых областях землетрясений внутри среды. В лучшем случае наблюдения могут производиться в скважинах и шахтах, а большей частью просто на поверхности Земли в условиях высокого уровня различного рода помех.

Имеется и другой, социальный аспект трудности этой проблемы - сейсмологический прогноз должен обладать высокой степенью надежности. В противном случае он будет приводить только к панике среди населения и наносить существенный ущерб экономике.

Вместе с тем можно отметить, что сейсмологический прогноз по сравнению, например, с метеорологическим имеет то преимущество, что процессы, развивающиеся в земной коре и приводящие к землетрясению, существенно более медленны и вероятно, более стабильны, не подвержены быстрым изменениям, которые столь характерны для атмосферных процессов [83].

Данные о предвестниках землетрясений накапливались в ходе различного рода сейсмологических и геофизических наблюдений в ряде стран: СССР, Италии, Японии,

Новой Зеландии [137]. Однако все эти материалы получались в основном эпизодически и только, пожалуй, геодезические измерения проводились достаточно целенаправленно.

Систематическое изучение совокупности предвестников было начато в Гармском районе в начале 60-х годов. В основу методики изучения предвестников были положены долговременные фоновые характеристики сейсмологического и геофизических полей, их распределение во времени и пространстве и отклонения от средних значений этих величин. Одновременно начал широко развиваться комплекс лабораторных работ по изучению изменения свойств образцов горных пород при высоких давлениях, изучению механических и электромагнитных процессов, предшествующих разрушению образцов и исследованию самого процесса разрушения. К настоящему времени мы не можем считать лабораторные исследования физическим моделированием природных процессов, поэтому лабораторные наблюдения можно сопоставлять с наблюдаемыми природными изменениями только по их «схожести». Тем не менее взаимное дополнение лабораторных и натурных исследований позволяет более направленно ставить эксперименты, как в естественных условиях, так и в лабораторных, которое существенно улучшает понимание физических процессов подготовки землетрясений и, как мы надеемся, открывает путь к истинному моделированию [83]. В последние годы продвинулось вперед и теоретическое изучение единичных очагов землетрясений на основе современной механики твердого тела и физики разрушения. Таким образом, хотя прогноз и продолжает основываться в значительной степени на чисто эмпирических данных, целый ряд явлений уже находит теоретическое объяснение.

ГЛАВА II. МЕТОДИКА СБОРА ДАННЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

2.1. Методика сбора данных и экспериментальная установка

При анализе метеорологических параметров атмосферы использованы данные метеорологических станций вблизи сейсмических событий для всех изученных эпизодов. Для Таджикистана и других стран использованы метеоданные, представленные на сети интернет www.https://rp5.ru/. Для анализа данных использован каталог землетрясений, созданный Геофизической Службой Академии наук Республики Таджикистан (1955-2019 гг.) и база данных мировой сети по землетрясениям.

Для изучения оптических микрофизических характеристик, газового состава в вертикальном столбе атмосферы и дисперсного состава частиц атмосферы использовано мировая сеть данных АЭРОНЕТ https://aeronet.gsfc.nasa.gov ближайших к очагу землетрясения с доступными данными.

Одним из эффективных подходов определения оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля являются методы фотометрии прямого и рассеянного солнечного излучения. В настоящее время наиболее развитой системой с точки зрения автоматизации измерений, оперативности получения данных и глобального охвата является сеть аэрозольных наблюдений АЭРОНЕТ *(http://aeronet.gsfc.nasa.gov)*. Для анализа землетрясения в Таджикистане использован сет АЭРОНЕТ г.Душанбе с базами данных с 2010-2019 г.г: https://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/data_display_aod_v3?site=Dushanbe&nachal=0&year=2019&month=8&aero_water=0&level=2&if_day=0&if_err=0&place_code=10&year_or_month=0

В данной сети для мониторинга состояния атмосферы используется солнечный фотометр производство CIMEL, Франция CE-318B (рисунок1).

Начиная с июля 2010 года по программе АЭРОНЕТ с использованием солнечного фотометра Cimel CE-318 (рисунок2.1), по проекту МНТЦ Т-1688, Т-

2076 при поддержке коллабораторов из Франции, США и Португалии с помощью фотометра CE-318 сети АЭРОНЕТ, расположенного на полигоне ФТИ, проводятся регулярные измерения спектральной аэрозольной прозрачности атмосферы в трех диапазонах: в УФ, видимой и ближней ИК (БИК) - области спектра на 7 длинах волны (λ= 340, 380, 440, 500, 670, 870 и 1020 нм); яркости неба в альмукантарате и в плоскости солнечной вертикали на 4-х длинах волн λ=440, 670, 870 и 1020 нм, а также общего содержания водяного пара в атмосфере. Полученные данные выставлены на сайте НАСА: http://aeronet.gsfc.nasa.gov.

Данные измерений могут быть использованы для восстановления следующих оптико-микрофизических характеристик аэрозоля, усредненных по всей толще атмосферы: аэрозольной оптической толщины; параметра Ангстрема (как характеристики спектральной зависимости оптической толщины); интегрального содержания водяного пара в атмосферном столбе; функции распределения аэрозольных частиц по размерам; комплексного показателя преломления вещества аэрозольных частиц; альбедо однократного рассеяния.

Солнечный фотометр состоит из сенсорной головки, электронного блока с микропроцессором и модулем памяти, а также робота. Сенсорная головка этого инструмента имеет полное поле зрения 1.2°, два коллиматора длиной 33см для уменьшения уровня паразитной засветки и два кремниевых детектора для измерения прямого солнечного излучения и яркости неба.

Восемь интерференционных фильтров установлены на диске перед детекторами и вращаются при помощи шагового двигателя. Сенсорная головка управляется азимутальным и зенитным шаговыми двигателями с точностью 0.05°. Наведение и слежение за Солнцем осуществляется роботом под управлением микропроцессора, который вычисляет положение Солнца на основе времени, долготы и широты места, где проводятся измерения. Точность вычисления и наведения сенсорной головки на Солнце составляет около 1°. Для более точного наведения и слежения используется четырех

квадрантный детектор, встроенный в сенсорную головку. Электронный блок состоит из двух микропроцессоров для сбора информации и управления движением в режиме реального времени.

Рисунок 2.1- Солнечный фотометр Cimel CE-318 в работе установленный на станции наблюдения в г. Душанбе

Данные с модуля памяти солнечного фотометра могут быть перенесены на PC или через систему сбора данных на один из геостационарных спутников: GOES, METEOSAT или GMS и затем ретранслироваться на соответствующую наземную принимающую станцию. Робот выполняет работу по наведению на солнце и слежению за ним. Солнечный фотометр CIMEL CE-318 измеряет прямую солнечную радиацию на 8 длинах волн видимого спектра: 340, 380, 440, 500, 670, 870, 940 и 1020 нм, яркость неба в альмукантарате и в главной плоскости Солнца на 4 длинах волн: 440, 670, 870 и 1020 нм. Фильтр на 940 нм используется для восстановления содержания водяного пара в атмосфере в виде осажденной воды. Ширина полосы интерференционных фильтров различна: от 2 нм (УФ каналы) до 10 нм для видимой и ближней ИК области спектра. Суммарная ошибка измерения спектральной аэрозольной оптической толщины изменяется от ± 0.01 до ± 0.02 и спектрально зависит от больших ошибок в

УФ области спектра. Полное содержание водяного пара в атмосфере (в см осажденной воды) совпадает в пределах ~ 10 % с измерениями радиозондом или микроволновым радиометром.

Полученные данные будут использованы: для моделирования и изучения радиационного режима атмосферы, определения количественных и качественных характеристик аэрозольной компоненты атмосферы, а также для моделирования переноса излучения в реальной атмосфере с учетом аэрозоля; для моделирования климатических изменений в региональном и глобальном масштабе; для подтверждения и коррекции данных спутниковых наблюдений аэрозоля; для мониторинга и определения динамики трансформации и перемещения аэрозоля в атмосфере; в качестве дополняющих наборов данных и вспомогательной базы данных для автоматических лидарных систем, сетей по радиационному мониторингу и мониторингу озона; для оценки трендов (месячных, сезонных, годичных) изменения оптических свойств атмосферы; для оценки степени загрязнения воздушного бассейна г. Душанбе. Программа исследований рассчитана на долговременную перспективу.

В настоящей диссертационной работе использованы данные по аэрозольной оптической толщине (АОТ) или прозрачность атмосферы, АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции, параметр Ангстрема, общее содержание водяного пара, озона и двуокиси азота по данным полученным в сети АЭРОНЕТ г. Душанбе по землетрясениям в Таджикистане и изученных сейсмических событий в ближайшие сети АЭРОНЕТ, находящейся вблизи очага.

2.2. Сейсмологические и геофизические наблюдения в Таджикистане

В годы гражданской войны (1992-1997 г.г.) в Таджикистане фактически была выведена из строя уникальная система сейсмологических и геофизических наблюдений страны, созданная усилиями Института физики Земли АН СССР, Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикской ССР (ТИССС), [110-111], прекратился оперативный обмен сейсмологических данных [4,7,8,15,110-112,120].

На рисунок 2.2 и рисунок 2.3 представлены данные о сильных землетрясениях за период с 1490 г. по 2003 г. и карта эпицентров землетрясений Таджикистана за 1955-2006 гг. на базе данных, полученных аналоговыми сейсмическими станциями ТИССС соответственно.

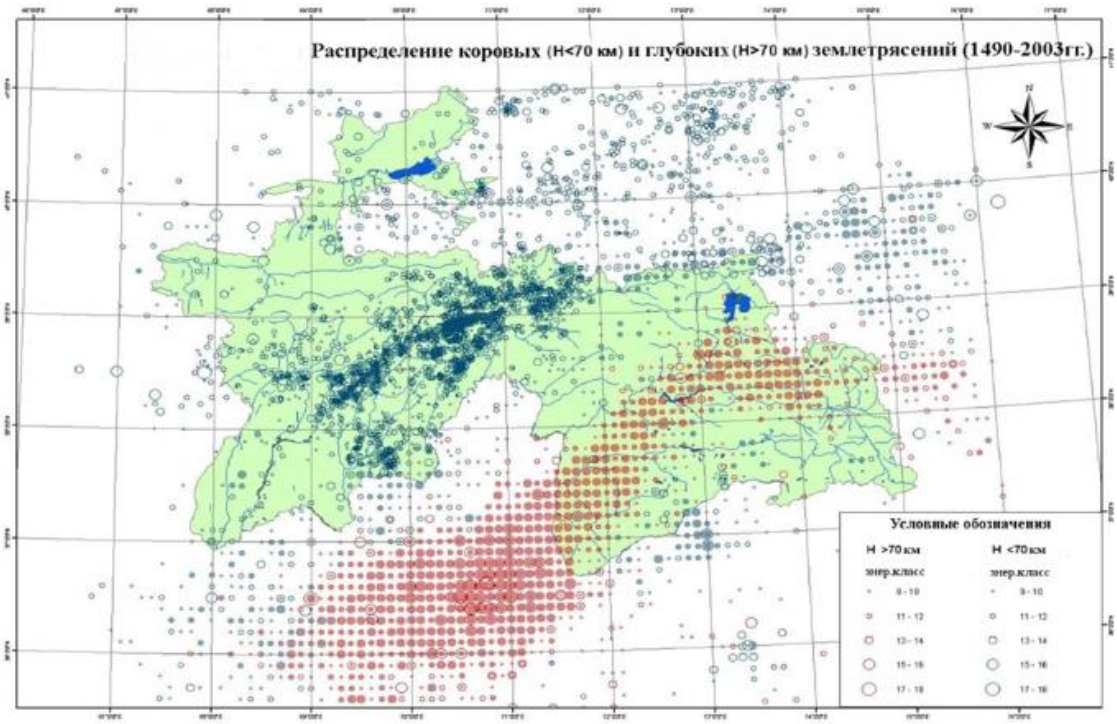

Рисунок 2.2 - Карта эпицентров сильных землетрясениях за период с 1490 - 2003 гг. [111]

Рисунок 2.3 - Карта эпицентров землетрясений Таджикистана за 1955-2006 гг. на базе данных полученных аналоговыми сейсмическими станциями ТИССС (издано в 2016 г.) [111]

Первичные данные сети доступны в: http://service.iris.edu/ http://service.iris.edu/fdsnws/station/docs/1/builder/

Результаты обработки данных по динамике изменения количества землетрясения с энергетическим классом K>10, M=3-7.2 в Таджикистане и Душанбино - Вахшском регионе приведены на рисунок 2.4, видно, что количество землетрясений за данный период имеет два максимума 1980-1990 и 2007-2016 гг., это количество резко увеличилось за последний период.

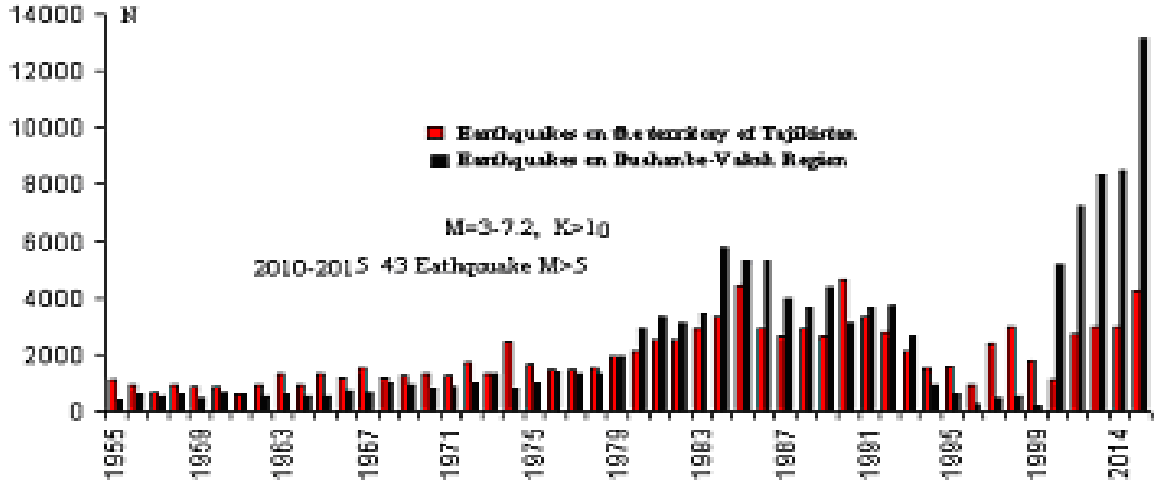

Рисунок 2.4 - Динамика изменения количество землетрясения с энергетическим классом K>10, M=3-7.2 в Таджикистане и Душанбино-Вахшском регионе

На рисунке 2.4 и табл. 2.1 представлены динамика и детали изменения количества землетрясений с энергетическим классом K>10, M=2-6.6 в Таджикистане за период 2007-2016гг.

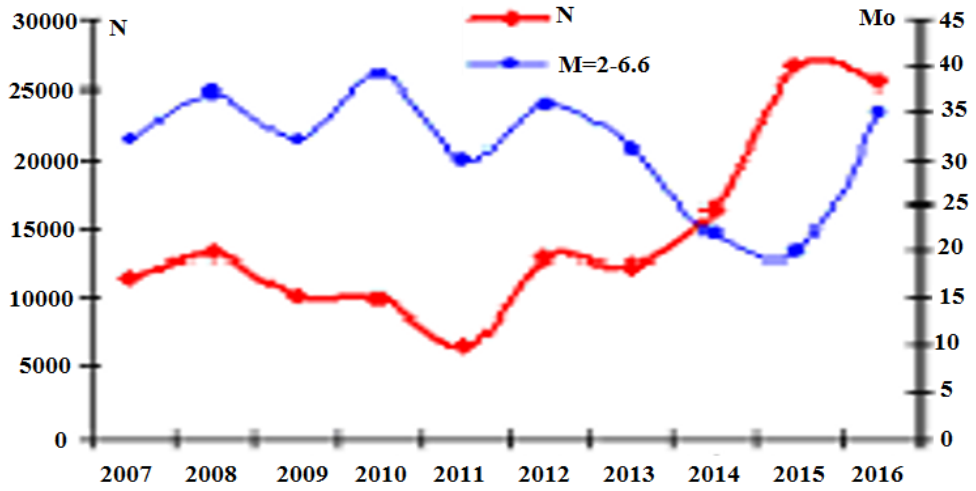

Рисунок 2.5- Динамика изменения количества землетрясений с энергетическим классом K>10, M=2-6.6 в Таджикистане за период 2007-2016 гг.

Таблица 2.1 - Динамика количества землетрясений с энергетическим классом K>10, M=2–6.6 в Таджикистане за период 2007–2016 гг.

ГОД	ЧИСЛО	Mo=2–6.6	ЭНЕРГИЧЕСКИЙ КЛАСС (МАГНИТУДА)
2007	11306	32	K=8.6–14.3 (M=2.6–5.7)
2008	13129	37	K=7.4–15.0 (M=1.9–6.1)
2009	10022	32	K=8.4–15.0 (M=2.4–6.1)
2010	9835	39	K=8.6–14.8 (M=2.6–6.0)
2011	6509	30	K=8.6–15.0 (M=2.6–6.1)
2012	12818	36	K=8.5–14.6 (M=2.5–5.9)
2013	12234	31	K=7.9–15.0 (M=2.2–6.1)
2014	16444	22	K=8.0–14.5 (M=2.2–5.8)
2015	26654	20	K=8.9–17.0 (M=2.7–7.2)
2016	25435	35	K=8.6–15.9 (M=2.6–6.6)

За период 2010-2019 гг. в Таджикистане регистрировано более 50 землетрясений с магнитудой M>5, некоторые из них нами били изучены детально с тем, чтобы обосновать предложенный нами комплекс предвестников для краткосрочного прогноза землетрясений.

2.3. Сбой функции температуры и давления атмосферы перед землетрясением

Впервые сбой функции температуры и давления атмосферы перед землетрясением обнаружено авторами [4] и запатентовано в [7]. По существу, явление обнаружено на основе нарушения известного уравнения состояния газа Менделеева - Клапейрона, связывающего давление P, его объем V и температуру:

$$PV= (m/\mu)RT$$

где m- масса газа, μ - молярный вес, P- давление, R- газовая постоянная. Учитывая, что

ρ_0= m/V, где ρ_0 – плотность газа, для одного моля газа получим

$$P= \rho_0 RT$$

В замкнутом объеме газа, давление его изменяется прямо пропорционально изменению температуры. Но в незамкнутом объеме атмосферы V с изменением ее средней температуры T прямо пропорционально изменяется ее объем. При этом вследствие изменения плотности в незамкнутом объеме давление также пропорционально изменяется, но с обратным знаком по сравнению с объемом. Возможен и обратный эффект. Если по каким-то причинам изменяется плотность атмосферы (для идеального газа), то с обратным знаком должна изменяться ее средняя температура. Как показали результаты длительных наблюдений температуры и давления атмосферы, отмеченные закономерности изменения температуры T и давления P достаточно хорошо сохраняются при отсутствии внешних дополнительных факторов. Однако в периоды, предшествующие землетрясениям, обнаруживается длительный (сутки) сбой равновесия функций давления и температуры. Длительное наблюдение показало, что изменение давления или температуры перед сменой погоды в атмосфере не вызывает, сбоя равновесия указанных функций. Это связано с тем, что изменение давления успевает компенсироваться соответствующим изменением температуры и наоборот.

В настоящей работе проведено исследование аномального поведения аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы (прозрачности атмосферы), общего содержания водяного пара (ОСВП) в вертикальном столбе атмосферы, параметра Ангстрема, аэрозольной оптической толщи субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля перед землетрясением.

Проведен анализ данных 15-минутных измерений ряда оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля полученного с помощью солнечного фотометра CIMEL CE-318 (Франция) станции AERONET в г. Душанбе, установленной на территории полигона атмосферного мониторинга лаборатории физики атмосферы Физико-технического института им. С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистан. Экспериментальные результаты базируются на представительном массиве данных -85000 серий измерений по 21 параметру атмосферы за 2010-2019 г.г.

[121-124] и на базе данных Геофизической службы Академии наук Республики Таджикистан в период с 2010-2015 г.г., по 43 землетрясениям с энергетическим классом К>10 и магнитудой М>5. По данным Геофизической Службы АН РТ только за 2015 год зарегистрировано 26000 землетрясений на территории Таджикистана.

Для краткосрочного прогнозирования землетрясения используется диагностика предвестников аномальных возмущений состояния атмосферы. На рисунке 2.6 приведена динамика сейсмической активности за период октябрь 2015 г., которая включает 28 землетрясений с магнитудой М$^{\geq}$ 3, зарегистрированных на 80 точках в Таджикистане.

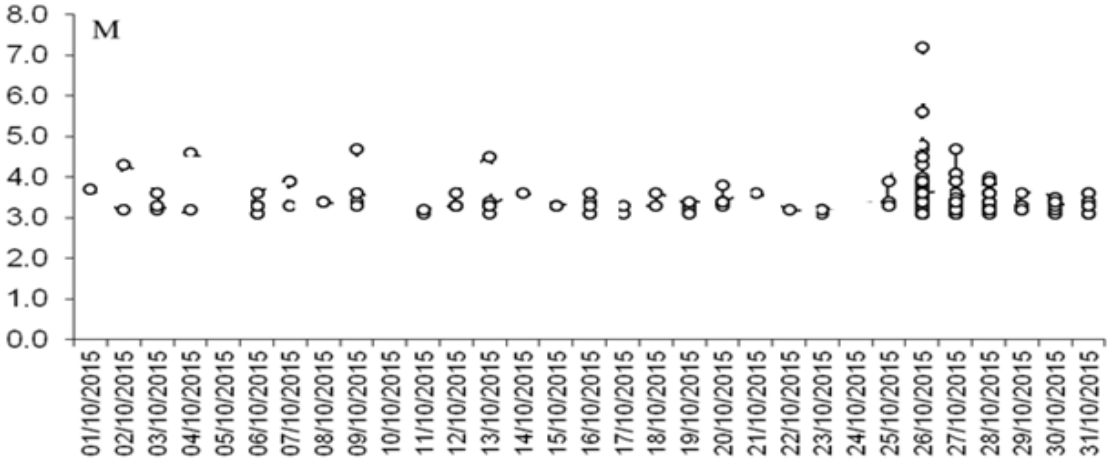

Рисунок 2.6 - Динамика сейсмической активности за период октябрь 2015 года в Таджикистане.

При отсутствии сейсмической активности в атмосфере наблюдается противофазность изменения температуры и давления. Перед предстоящим землетрясением в зависимости от магнитуды и энергетического класса наблюдается сбой противофазности функции температуры и давления, данный эффект обнаружен и запатентован авторами [4,7]. Синхронно со сбоем противофазности функции температуры и давления наблюдается аномальное поведение оптических и микрофизических параметров атмосферы.

В период с 10.10.2015 г. по 31.10.2015 г. зарегистрировано сейсмическое событие, которое предшествовало: во – первых, сбою противофазности

функции температуры и давления; во – вторых, аномальному поведению оптических и микрофизических параметров атмосферы. Рассмотрим некоторые из этих событий.

Землетрясение 13.10.2015г. с магнитудой М=4.5 и 18.10.2015г. с магнитудой М=6. Сбой функции температуры и давления одновременно зарегистрированы во всех станциях накануне 11.10.2015 г. (г. Хорог, г. Курган-Тюбе, г. Душанбе и г. Худжанд) (в качестве примера на рисунке 2.7 представлены метеорологические параметры для г. Душанбе).

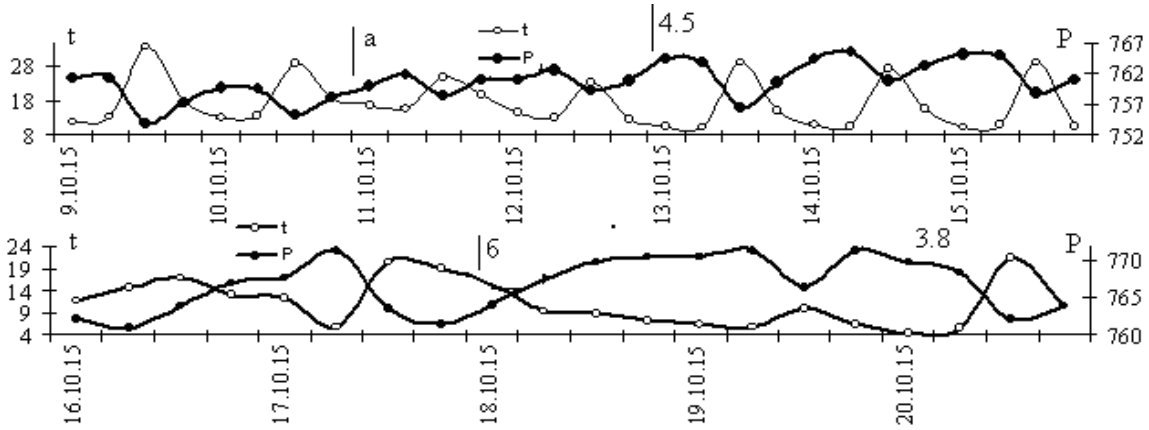

Рисунок 2.7 - Ход температуры и давления в г. Душанбе перед землетрясением 18 октября 2015 г.

Землетрясение 26.10.2015г. с магнитудой М=7.2 в эпицентре. Один из крупнейших землетрясений с интервалом 10 сек зарегистрировано на территории Таджикистана и сопредельных государств Афганистана и Пакистана. Сбой противофазности функции температуры и давления происходил во всех станциях 19.10.2015г (рисунок 2.8). По обнаруженным сбоям равновесного состояния функций температуры и давления в атмосфере г. Душанбе, приведенных на рисунок 2.8, видно, что сбой функции температуры и давления начинался 19 октября, то есть за 7 дней до Афганского землетрясения 26 октября (рисунок2.8).

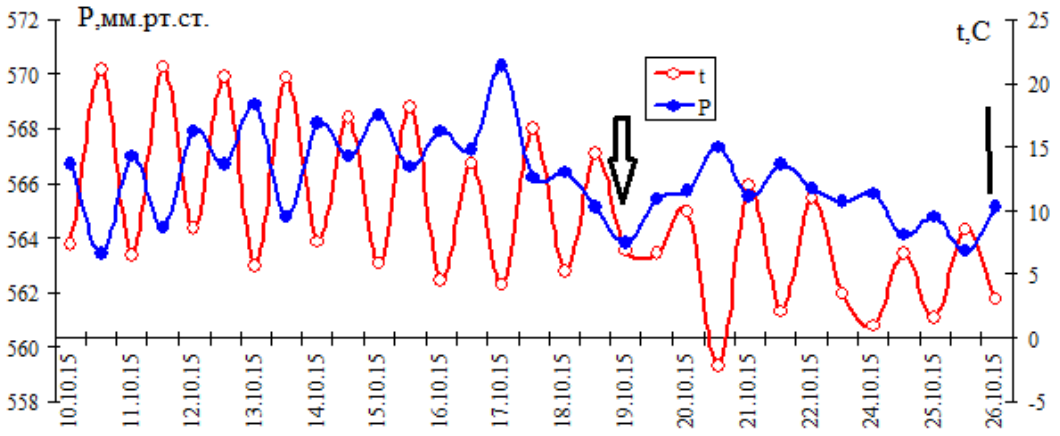

Рисунок 2.8- Ход изменений во времени температуры и давления на ст. Ишкашим 10-26 октября 2015г. перед Афганским землетрясением 26 октября

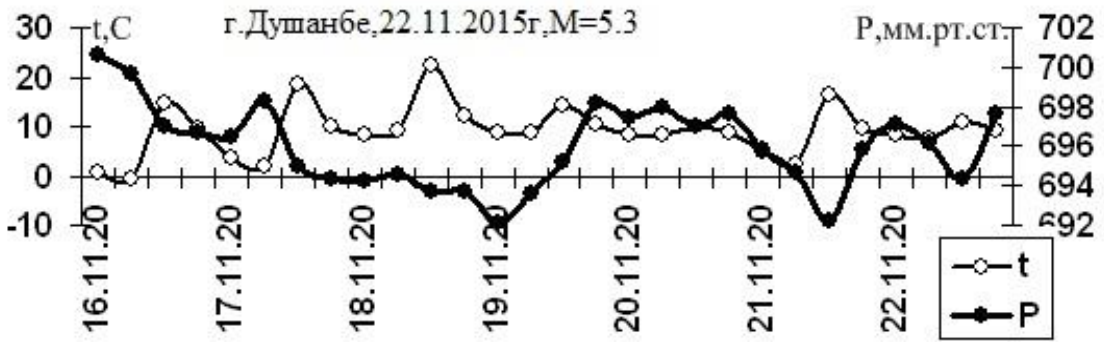

Рисунок 2.9 - Ход температуры и давления в г. Душанбе 16-26 ноября 2015 г. перед Сарезским землетрясением 22 ноября 2015 г.

В Таджикистане 7 декабря 2015 года произошло мощное землетрясение магнитудой 7.2. Его эпицентр располагался на территории Мургабского района в 360 км восточнее Душанбе и в 22 км от высокогорного озера Сарез. За ним в течение суток произошло еще 11 афтершоков магнитудой от 4,5 до 5,5. На рисунке 2.9, представлены изменения температуры и давления в Мургабе 01-07 декабря 2015г., перед Сарезским землетрясением 07 декабря. Как видно, сбой противофазности температуры и давления начинается с 03 декабря 2015года.

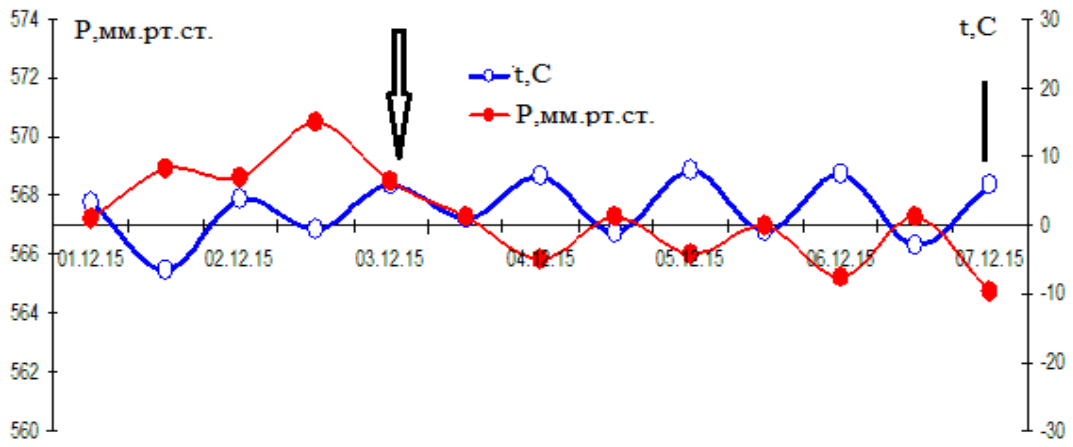

Рисунок 2.10 - Ход температуры и давления на ст. Ишкашим 01-07 декабря 2015г., перед Сарезским землетрясением 07 декабря 2015г.

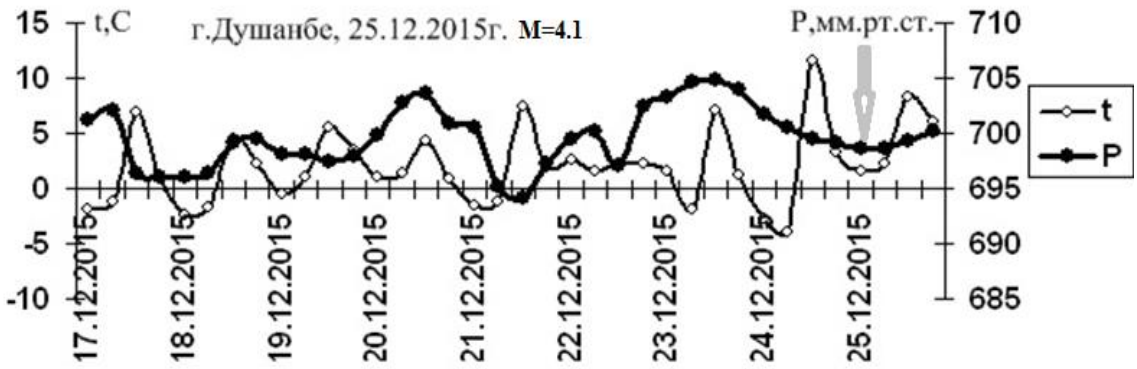

Рисунок 2.11 - Ход температуры и давления в г. Душанбе 17-25 декабря 2015 г., перед Гиссарским землетрясением 25 декабря 2015 г. M= 4.1

Сбои равновесного состояния функции температуры и давления были изучены также в Ишкашиме, г. Хороге, г. Курган-Тюбе, г. Душанбе и г. Худжанде. Результаты представлены в приложении настоящей диссертационной работы.

В этом параграфе было рассмотрено влияние сейсмической активности на метеорологические параметры атмосферы на примере землетрясений на территории Таджикистана.

Для развития методики обнаружения аномального поведения параметров атмосферы перед сейсмическими событиями в данной работе, дополнительно

рассмотрены атмосферные явления перед землетрясениями с магнитудой больше 7 за пределами Таджикистана.

В центральной части Филиппин 15 октября 2013 года произошло крупное землетрясение. Его эпицентр находился в двух километрах к югу от города Кармен в провинции Бохоль, (координаты: широта 9°53'54.62"с.ш; долгота 124°13'0.17"в.д; высота 167м.н.у.м.) очаг залегал на глубине 33 километра. После первого толчка магнитудой 7,2 было зарегистрировано не менее двух десятков афтершоков.

Для обработки метеорологических данных использованы данные метеостанции Тагбиларан, Филиппины (координаты: 9' 39" с.ш., 123' 51" в.д. 160 м.н.у.м.). Для изучения атмосферных параметров использованы данные станции AERONET в Обсерватории Манилы (14,635с.ш.121.07в.д. 63 м.н.у.м.).

На рисунке 2.3.7. представлены результаты вариации температуры и давления на примере землетрясения на Филиппинах 15 октября 2013 г., M=7.2. Эпицентр находился на острове Бохоль (координаты: широта 9°53'54.62"с.ш; долгота 124°13'0.17"в.д; высота 167м.н.у.м.).

Как видно, сбой функции давления и температуры начинается 10 октября т. е. за 5 дней до предстоящего землетрясения. Сбой функции температуры и давления восстанавливается 15 октября.

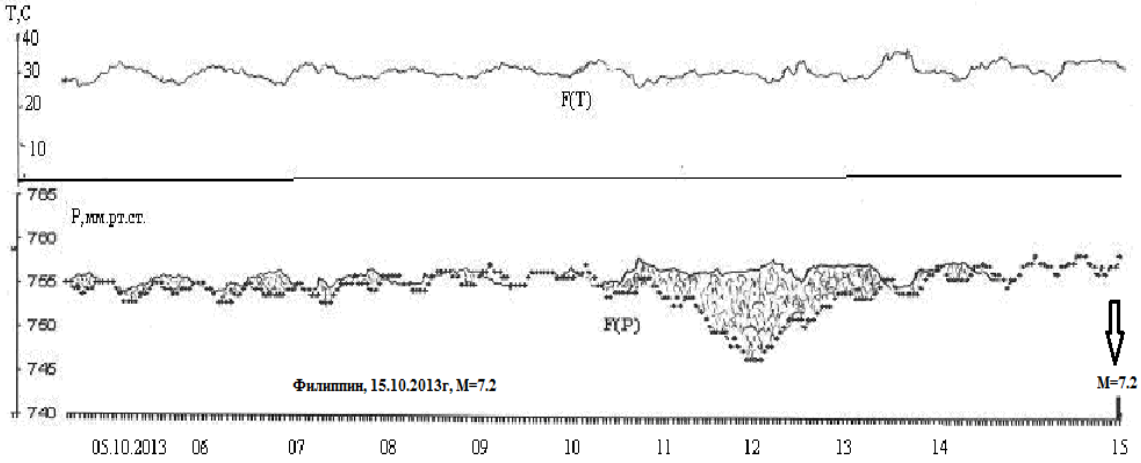

Рисунок 2.12 - Вариация температуры и давления на примере землетрясения на Филиппинах 15 октября 2013 г., M=7

На границе Ирана и Ирака 12 ноября 2017 зарегистрировано толчки с магнитудой 7,2 в 204 километрах к северо-востоку от Багдада и в 104 километрах к западу от иранского города Керманшах. Очаг землетрясения залегал на глубине 10 километров. После землетрясения в Ираке зафиксировали не менее 100 афтершоков.

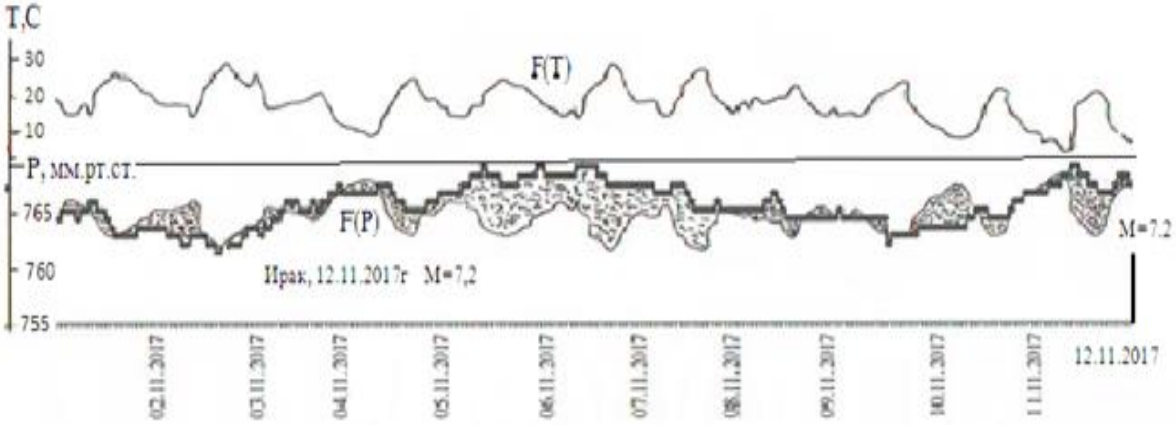

Рисунок 2.13 - Вариация температуры и давления на примере землетрясения в Иране 12 ноября 2017 г., М=7.3

Для обработки вариации метеорологических параметров использованы данные Метеостанции Керман (аэропорт30° 16.464' с.ш., 56° 57.06' в.д.; 1750 м), Иран. Для изучения атмосферных параметров использованы данные станции AERONET IASBS (36,705с.ш. 48,506 в.д. 1805м.н.у.м).

Ход метеорологических параметров атмосферы, представленный на рисунке 2.13, свидетельствует о нестабильности атмосфере в данном регионе.

В Мексике 17 февраля 2018г. мощное землетрясение магнитудой 7,2 произошло в южном мексиканском штате Оахака (координаты: широта 17° 3'31.17"с.ш.; долгота 96°43'18.34"з.д.; высота 1545 метров). Эпицентр подземных толчков находился в 37 километрах к северо-востоку от населенного пункта Пинотепа-де-Дон-Луис (координаты: широта 16°25'39.91"с.ш.; долгота 97°58'41.70"з.д; высота 415метров). Региону нанесен серьезный материальный ущерб.

Полученные и обработанные данные по метеостанции Сантьяго (координаты: широта 33° 27' ю.ш., долгота 70° 40' з.д.; высота 543 метров),

указывают на сбой функции давления и температуры, начиная с 9 февраля (рисунок 2.14).

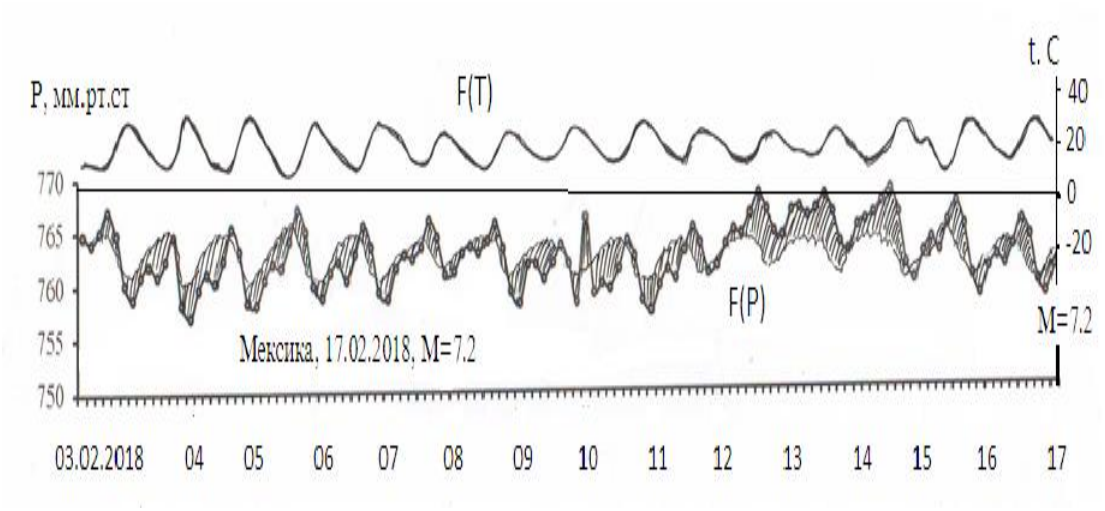

Рисунок 2.3.9. - Вариация температуры и давления на примере землетрясения в Мексике 17 февраля 2018 г., M=7.2

Таким образом, при нормальной ситуации в атмосфере наблюдается противофазность изменения температуры и давления. Перед предстоящим землетрясением заблаговременно в зависимости от магнитуды и энергетического класса наблюдается сбой противофазности функции температуры и давления. Сбой противофазности функции температуры и давления в атмосфере происходит заблаговременно, одновременно во всем пространстве вокруг эпицентра землетрясения. Сопоставление результатов показывает, что однозначность сбоя противофазности функции температуры и давления не всегда проявляется. Возможно, это связан со сменой воздушных масс и другими метеорологическими явлениями в атмосферы или с влиянием других внешних факторов (погрешности измерения метеорологических параметров, антропогенные технологические воздействия и др.).

ГЛАВА III. АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ, МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ГАЗОВОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ ПЕРЕД ПРЕДСТОЯЩИМ СЕЙСМИЧЕСКИМ СОБЫТИЕМ

3.1. Аномальное поведение аэрозольной оптической толщины перед предстоящим сейсмическим событием

В настоящей главе представлены результаты исследования явления аномального поведения аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы (прозрачности атмосферы), общего содержания водяного пара (ОСВП) в вертикальном столбе атмосферы, параметра Ангстрема, аэрозольной оптической толщи субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля перед сейсмическими событиями.

Проведен анализ данных 15-минутных измерений ряда оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля, полученных с помощью солнечного фотометра CIMEL CE-318 (Франция) сети AERONET г. Душанбе.

Перед Афганским землетрясением 26 октября 2015г. обнаружено аномальное поведение прозрачности атмосферы (рисунок 3.1). Наблюдается сбой функции температуры и давления, которое начинается 19 октября, то есть за 7 дня (рисунок 2.8) до сейсмического события. Аномальное поведение прозрачности отмечено 22 октября, то есть за 4 дня до сейсмического события. Синхронно с прозрачностью атмосферы обнаружено аномальное поведение аэрозольной оптической толщи, практически повторяется изменение прозрачности и обнаружено аномально высокое значение АОТ (рисунок 3.1-рисунок 3.2) для станции AERONET Душанбе, Иссык-Куль (Кыргызстан), Канпур (Индия) и Карачи (Пакистан).

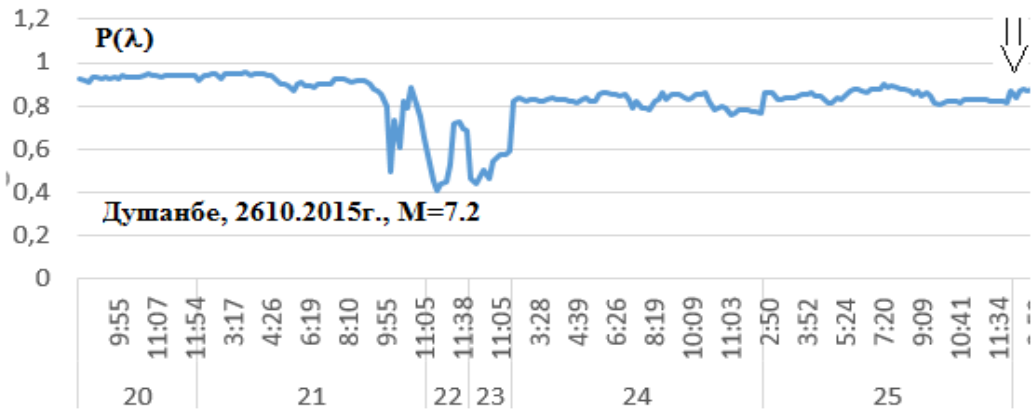

Рисунок 3.1 - Ход прозрачности атмосферы в г. Душанбе 20-26 октября 2015 г. перед Афганским землетрясением 26 октября

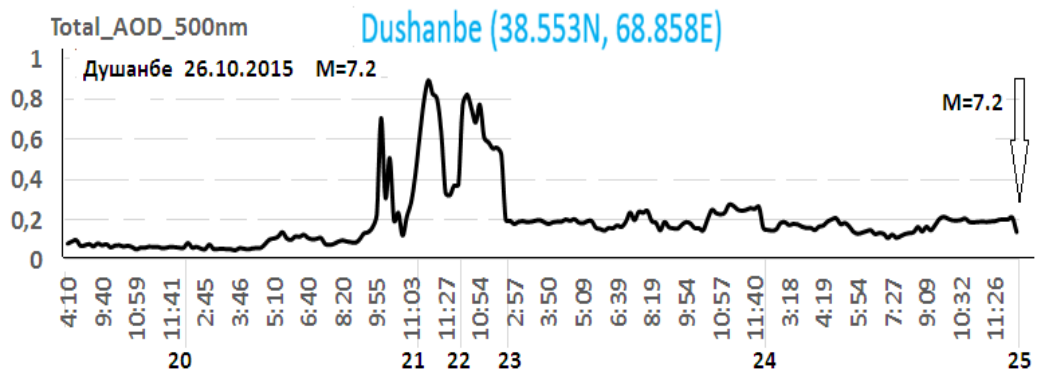

Рисунок 3.2- Ход изменений АОТ в г. Душанбе 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

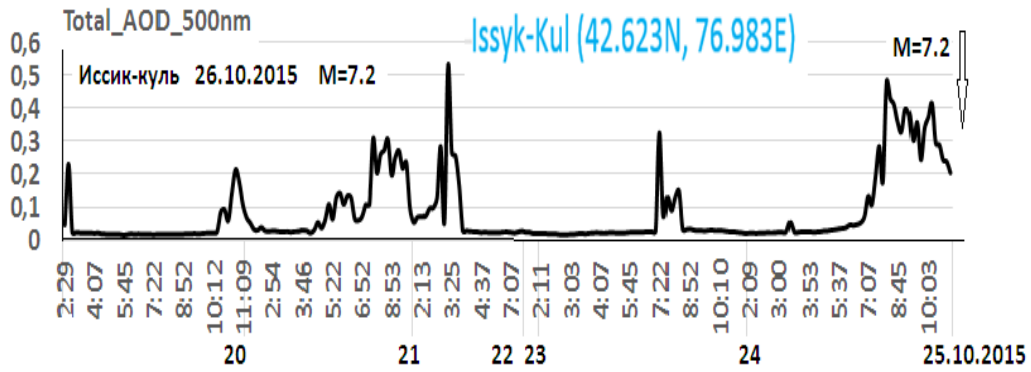

Рисунок 3.2а - Ход изменений АОТ в Иссык-Куле 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

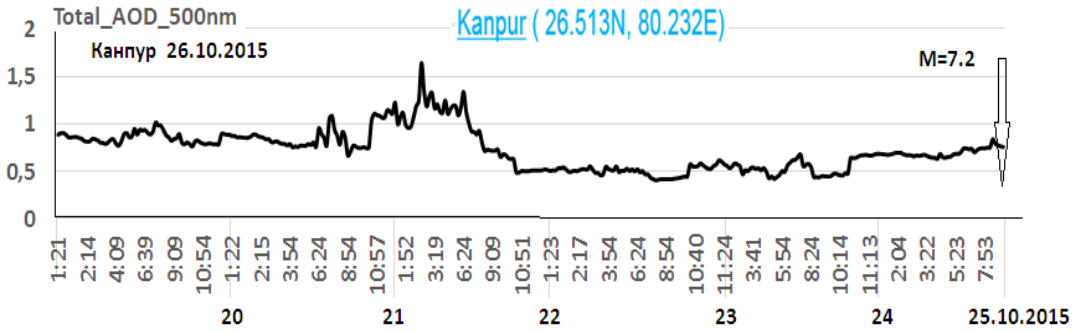

Рисунок 3.2б - Ход изменений АОТ в Канпуре 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

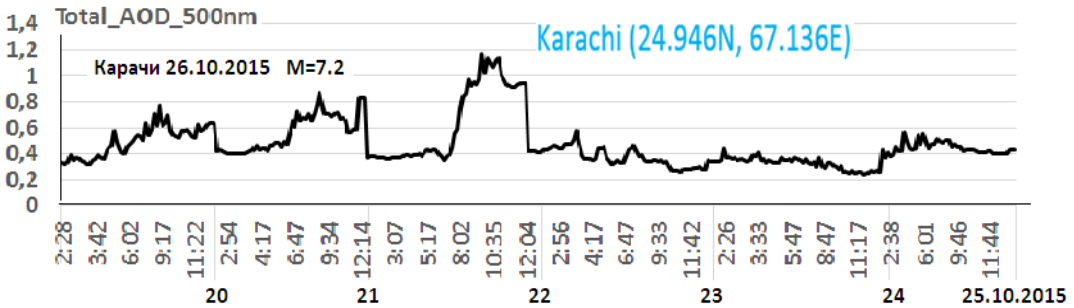

Рисунок 3.2в - Ход изменений АОТ в Карачи 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

Аномальное поведение АОТ и ОСВП атмосферы в вертикальном столбе атмосферы перед Сарезским (22 ноября 2015 г; 07 декабря 2015г), Гиссарским (25 декабря 2015 г.) землетрясениями представлены на рисунках 3.3 - 3.5. Как видно для Сарезского землетрясения аномальное высокое значение АОТ обнаружено 17ноября, за 5 дней до сейсмического события.

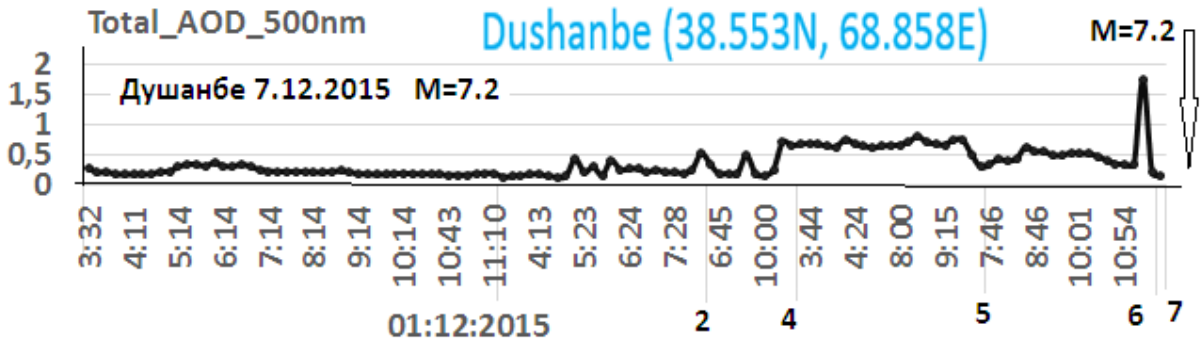

Рисунок 3.3 - Ход изменений АОТ в г. Душанбе 7 ноября 2015 г., перед Сарезским землетрясением 7.12.2015г.

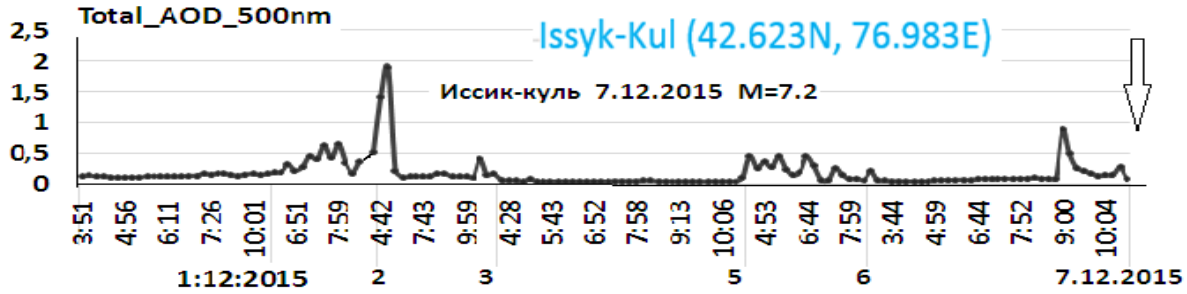

Рисунок 3.3а - Ход изменений АОТ в Иссык-Куле 7 ноября 2015 г., перед Сарезким землетрясением 7.12.2015г.

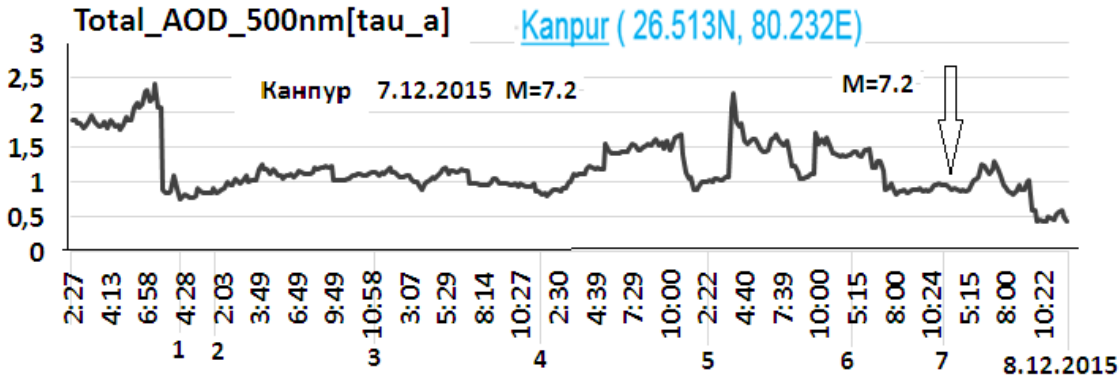

Рисунок 3.3б - Ход АОТ в Канпуре 7 ноября 2015 г., перед Сарезским землетрясением 7.12.2015 г.

Для Гиссарского землетрясения 25 декабря (M=4.1) аномально высокое значения обнаружено 18 декабря т.е. до 7 дней до сейсмической событий.

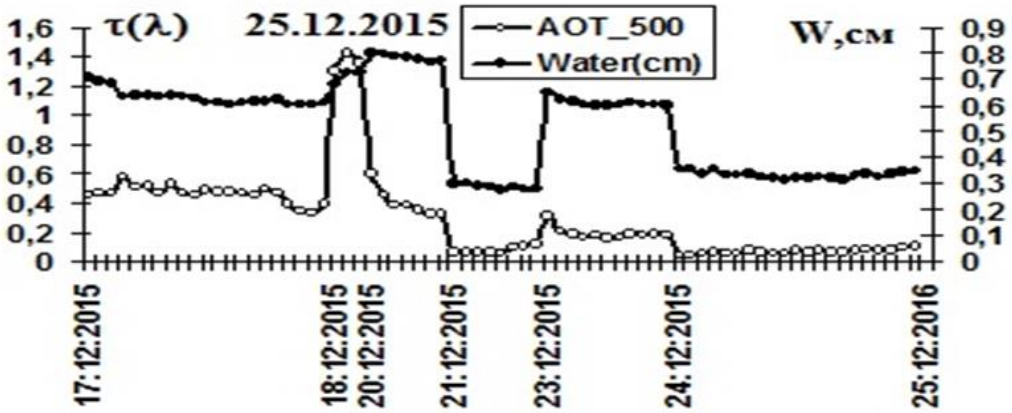

Рисунок 3.4 - Ход АОТ и ОСВП в г. Душанбе 17-25 декабря 2015 г. перед Гиссарским землетрясением 25 декабря 2015 г.

Аномально высокое значение АОТ обнаружено 02 декабря 2015 года перед Сарезским землетрясением (07 декабря 2015 г., M=7.2) .

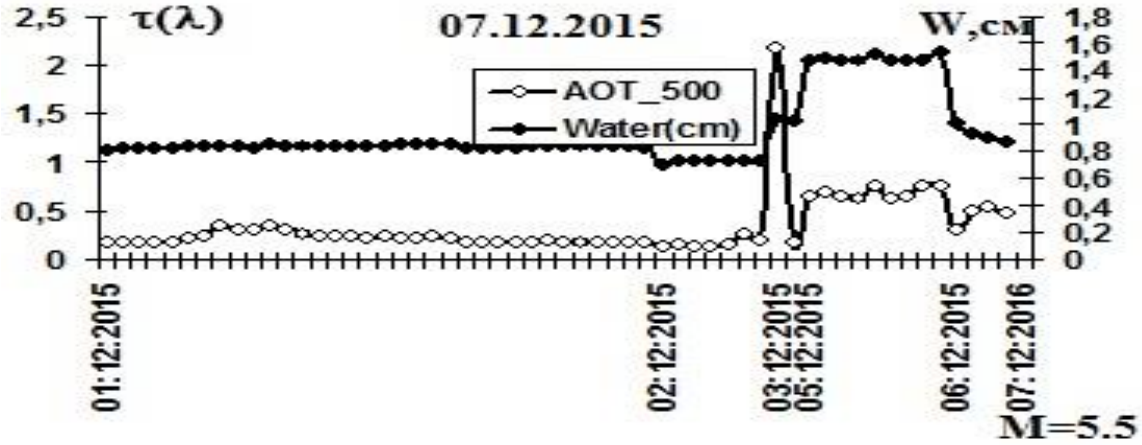

Рисунок 3.5 - Ход АОТ и ОСВП в г. Душанбе 01-07 декабря 2015 г., перед Сарезским землетрясением 07 декабря 2015 года

При изучении атмосферных параметров в период землетрясения полученных из станций AERONET, расположенных на Филиппинах, поведение аэрозольной оптической толщины (АОТ) свидетельствует об аномальном уменьшении прозрачности атмосферы, начиная с 07 октября достигло высоком значении АОТ 10 октября в обсерватории Манила
(координаты: 14,63с.ш.; 121,07в.д., высота 63м. над. ур. моря.) (рисунок 3.1.6). Для землетрясения на Филиппинах (15 октября 2015 года, М=7.2)

Рисунок 3.6 - Вариация АОТ на примере землетрясения на Филиппинах 15 октября 2013 г.

Полученные данные по оптическим и микрофизическим параметрам на станции AERONET Ирана (IASBS координаты; широта 36,70 с.ш.; долгота 48,50 в.д; высота 1805 метров), свидетельствуют, что происходил аномальный рост АОТ заблаговременно 07 ноября с максимумом АОТ 10 ноября (рисунок 3.7).

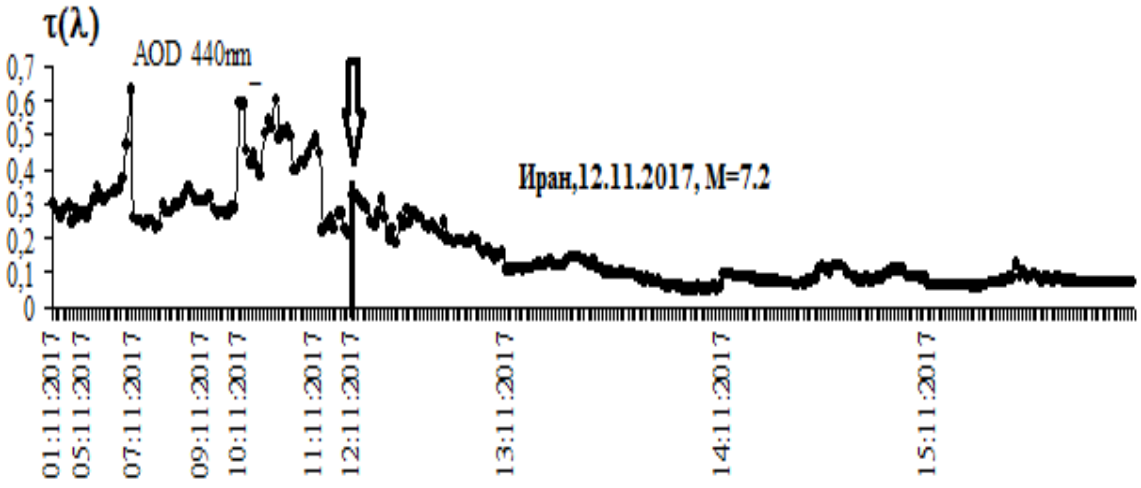

Рисунок 3.7 - Вариация АОТ на примере землетрясения в Иране 12 ноября 2017 г., M=7.3

Изученные сейсмические события, как в Таджикистане, так и за пределами страны свидетельствуют об обнаружении аномально низкой прозрачности атмосферы и аномально высоком значении АОТ в течении 4-8 дней, т.е. заблаговременно до сейсмического события, что способствует краткосрочному возможному землетрясению. Данные аномалии можно, использовать для разработки методов прогноза сейсмических событий при постоянном мониторинге атмосферных процессов.

Таким образом, предлагаемый вариант исследования комплекса аномального поведения оптических и микрофизических характеристик атмосферы, возможно вполне отвечает критерию «новизны», который до настоящего времени в практике не использовался. Синхронная регистрация ряда параметров атмосферы с учетом сбоя функции температуры и давления дает на возможность, прогнозирования предстоящего землетрясения.

Полученные результаты способствуют использованию новых методов прогноза землетрясения, основанных на обнаружении аномального поведения аэрозольной оптической толщи атмосферы, прозрачности атмосферы, общего содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы, параметра Ангстрема, аэрозольной оптической толщи субмикронной и крупнодисперсной

фракции аэрозоля в атмосфере перед землетрясением, эти новые методы дополняют методы, описанные в [1-30].

Выводы:

1. Синхронно со сбоем равновесного состояния функции температуры и давления в атмосфере происходит аномальное изменение оптических и микрофизических параметров атмосферы.

2. Для большинства землетрясений выявлены в основном аномально высокие значения субмикронной фракции аэрозоля, что, по-видимому, связано с дальним переносом аэрозоля.

3. Мониторинг метеорологических параметров атмосферы (температура воздуха и атмосферное давление), оптические и микрофизические характеристики атмосферы (аэрозольной оптической толщи атмосферы, прозрачности атмосферы, общего содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы, параметра Ангстрема, аэрозольной оптической толщи субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля в атмосферы) и ионосферного предвестника землетрясения в комплексе позволят улучшить прогноз землетрясений.

Полученные результаты в этом направлении могут быть основой для создания технологии мониторинга сейсмической опасности по данным сетевых наблюдений за изменениями метеорологических, оптических, микрофизических характеристик атмосферы.

3.2. Аномальное поведение АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля

Синхронно с аномальным поведением прозрачности атмосферы, АОТ и ОСВП, приведенные в параграфе 3.1., обнаружено также аномальное поведение АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля (рисунок3.8).

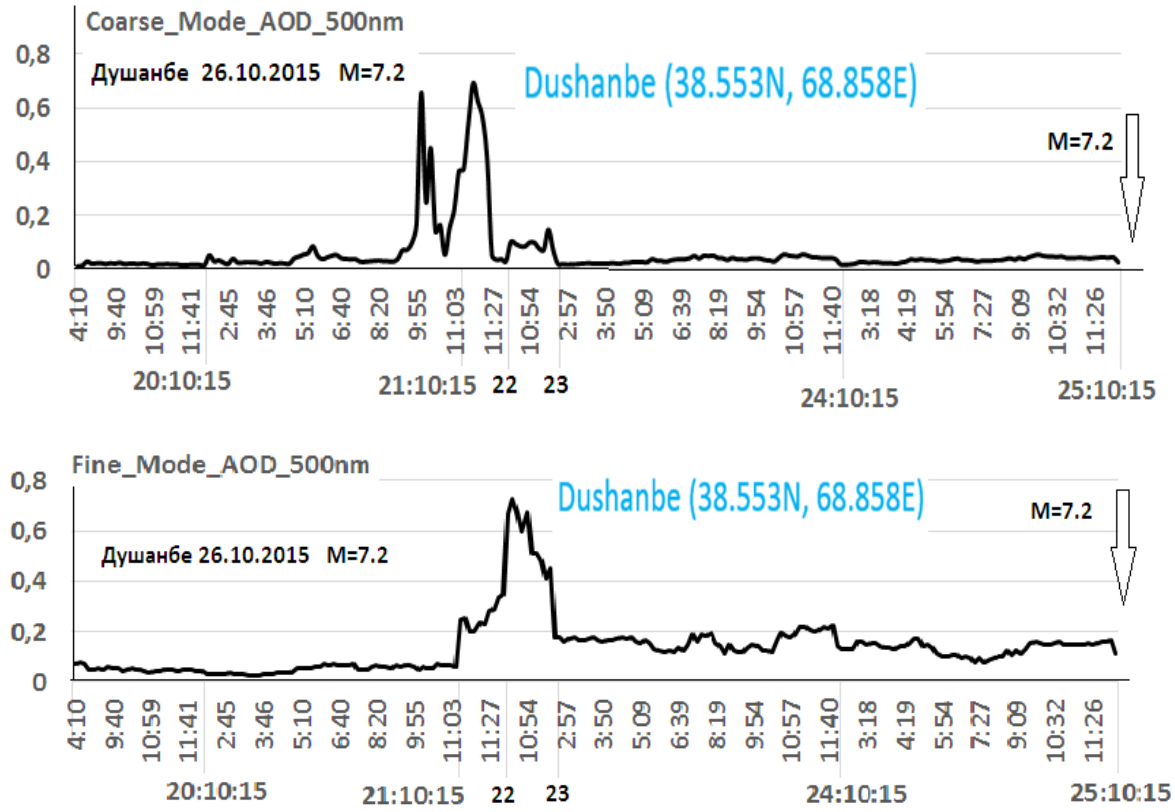

Рисунок3.2.1 а. - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля в г. Душанбе 20-26 октября 2015 г., перед Афганским землетрясением 26 октября

Как видно из рисунка 3.8, в Афганском землетрясения вклад крупнодисперсной фракцией аэрозоля. доминирует над субмикронной фракцией аэрозоля с увеличением АОТ 21.10.2015 а в конце 22.10.2015г доминирует субмикронная фракция (рисунок 8).

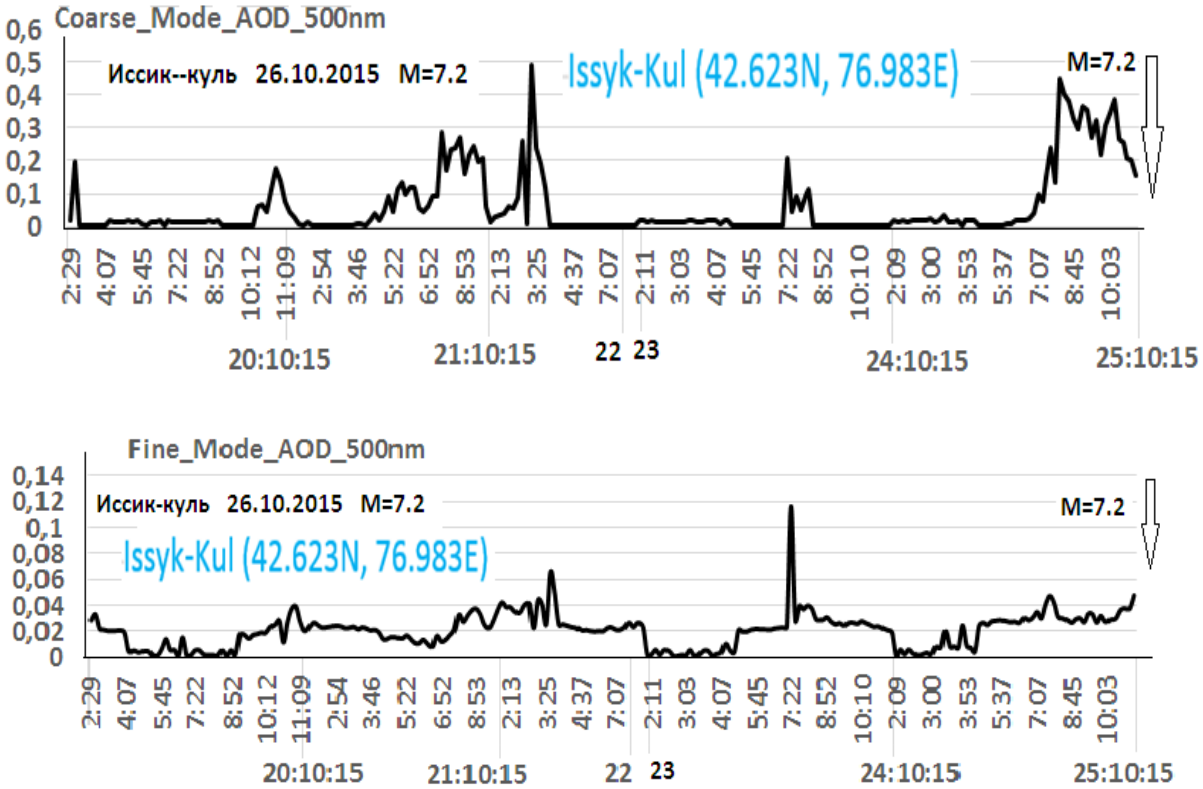

Рисунок 3.9 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля в Иссык-Куле 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

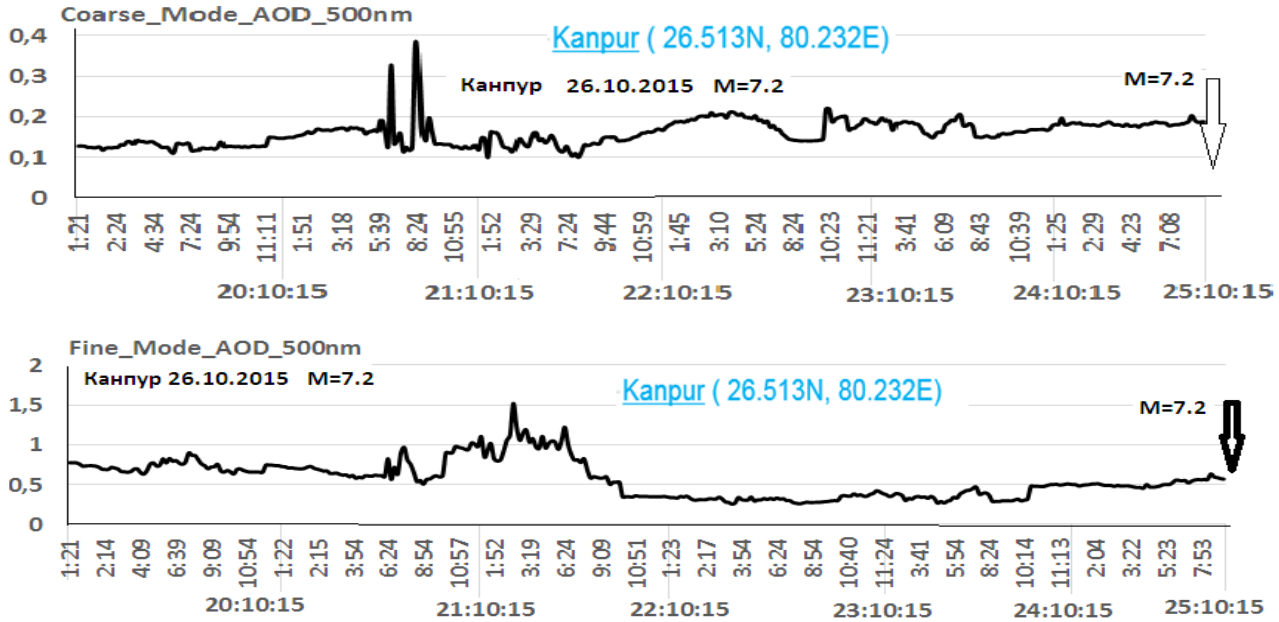

Рисунок 3.10 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля в Канпуре 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

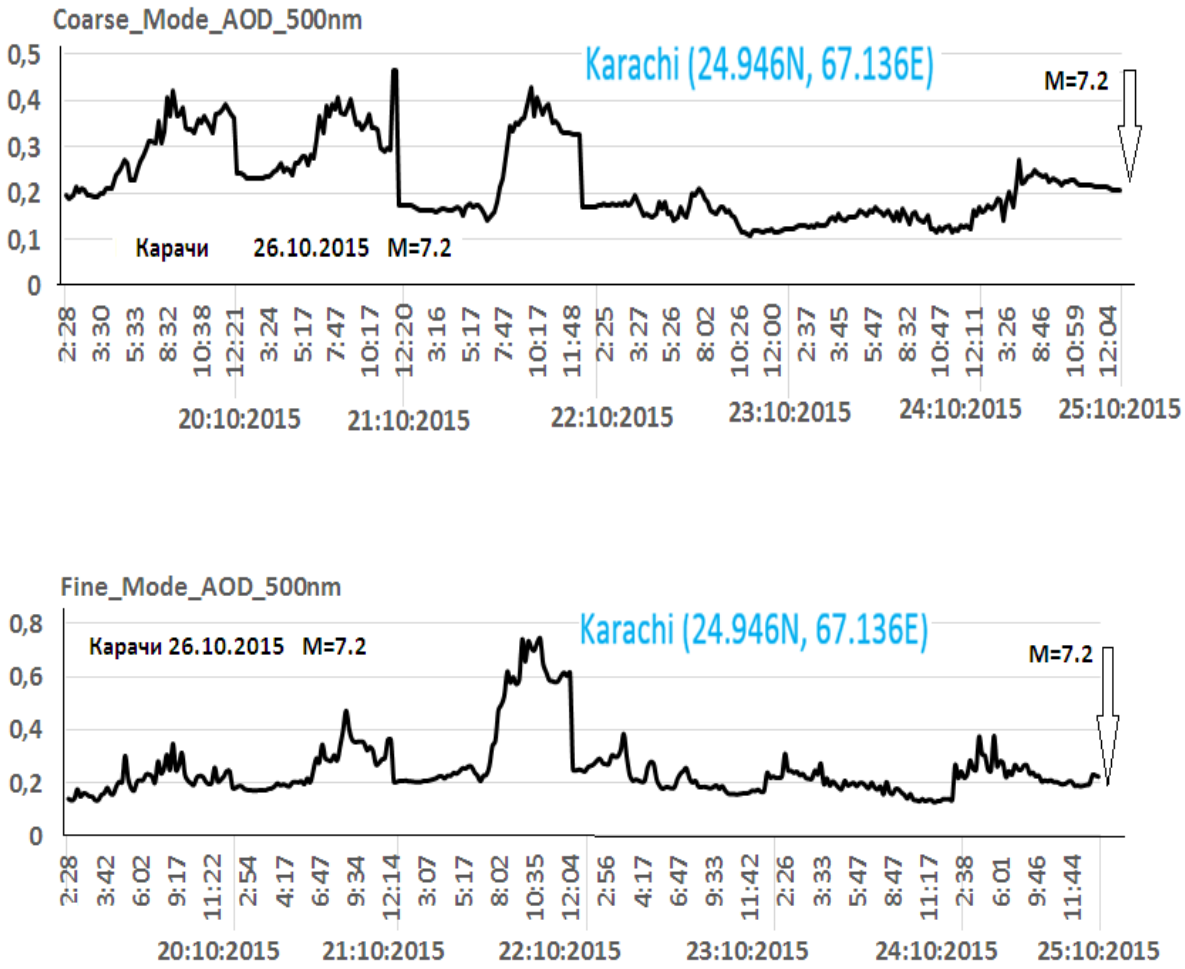

Рисунок 3.11 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля в Карачи 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

Также обнаружено доминирующая роль субмикронной фракции аэрозоля над крупнодисперсной фракцией для Сарезского землетрясения 22 ноября 2015 года (рисунок 3.12) в 4 раза, для филиппинского землетрясения 15 октября 2015 года (рисунок 3.14) в 5 раз и мексиканского землетрясения 17 февраля 2018 года (рисунок 3.16.) в 6 раз.

Наоборот, для Гиссарского землетрясения 25 декабря 2015 года (рисунок 3.13) для Сарезского землетрясения 7 декабря 2015 года (рисунок 3.12) обнаружен доминирующий вклад крупнодисперсной фракции аэрозоля над субмикронной фракцией в 4 и 10 раз, соответственно.

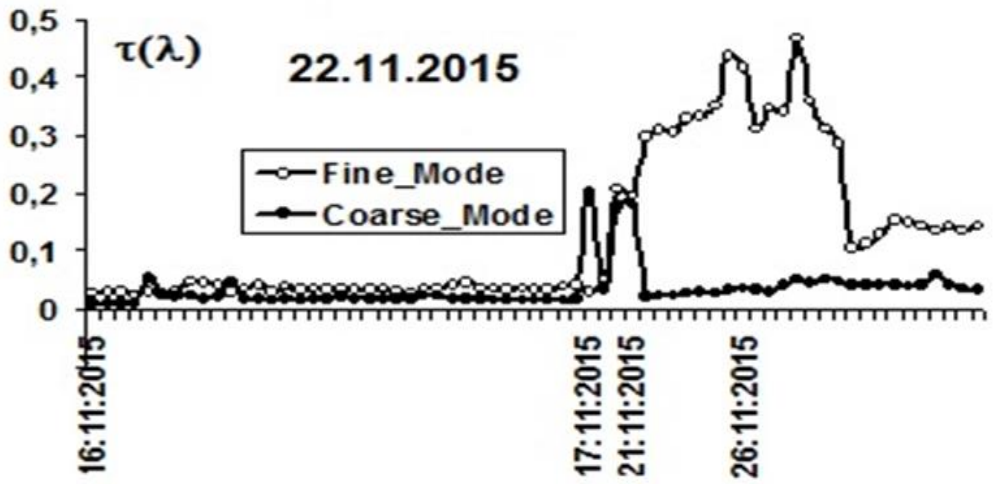

Рисунок 3.12 - Ход АОТ (субмикронной и крупнодисперсной фракции) аэрозоля в г. Душанбе 16-26 ноября 2015 г., перед Сарезским землетрясением 22 ноября 2015 г.

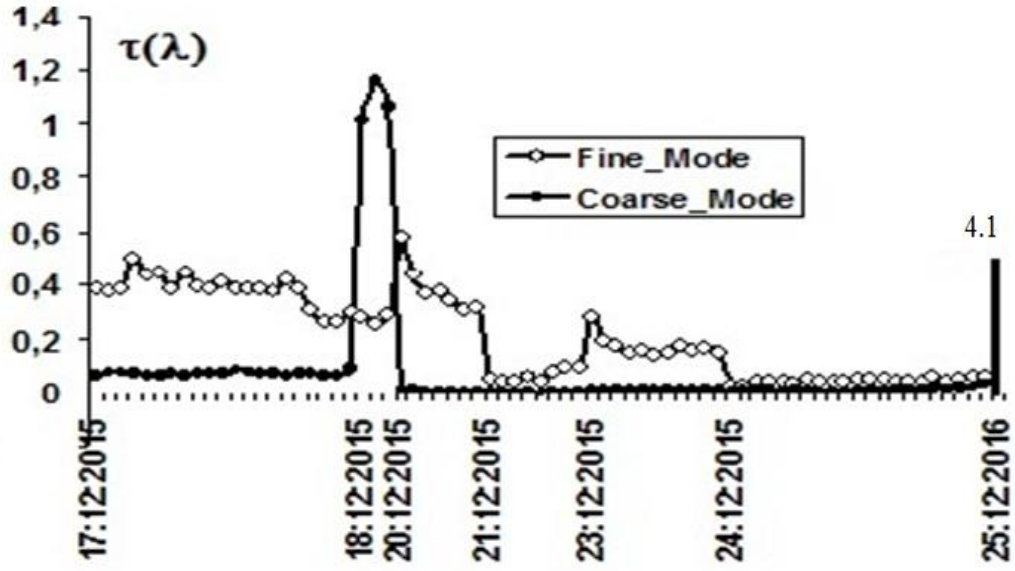

Рисунок 3.13 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля в г. Душанбе 17-25 декабря 2015 г. перед Гиссарским землетрясением 25 декабря 2015 г.

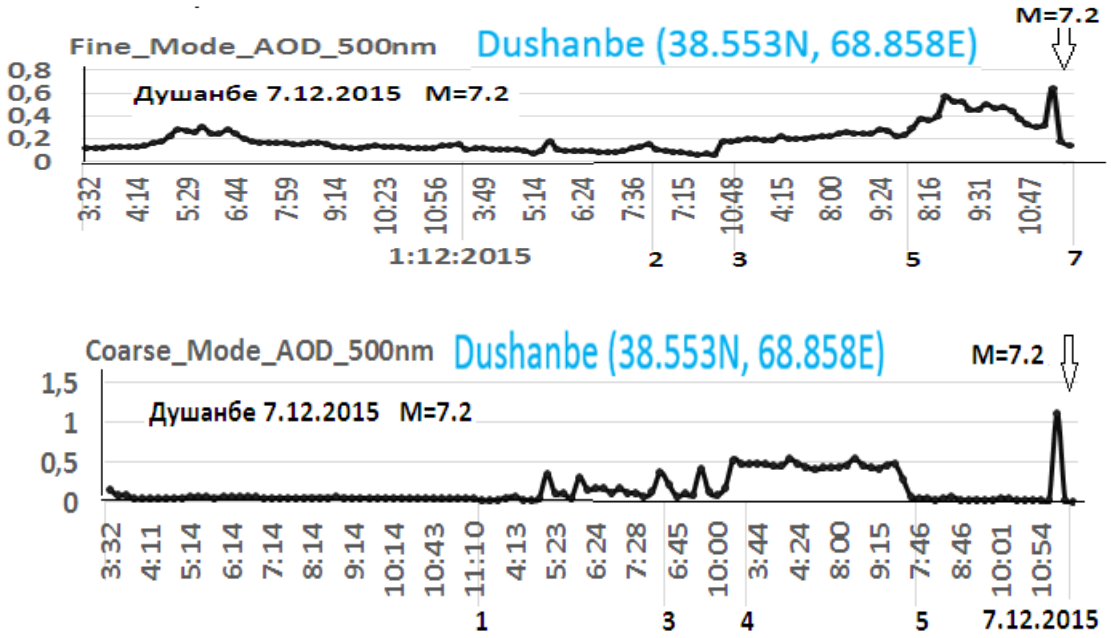

Рисунок 3.14 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля в г. Душанбе, 1-7 декабря 2015 г. перед Сарезским землетрясением 7 декабря 2015 года

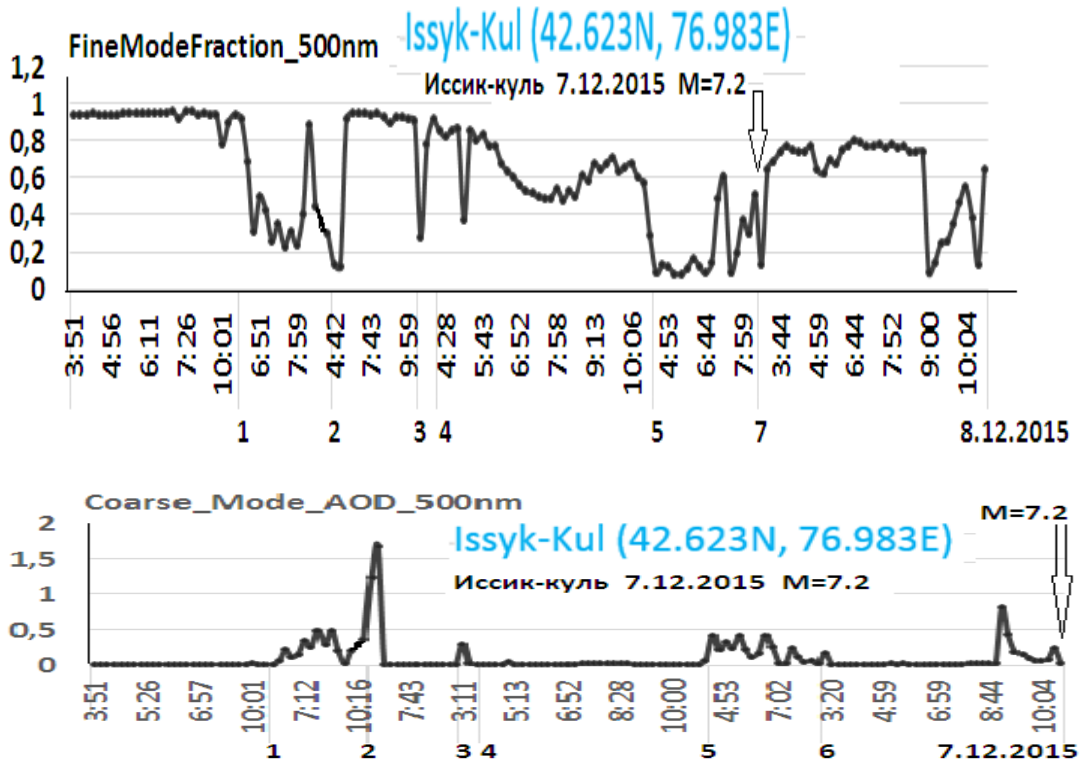

Рисунок 3.15 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля в Иссык - Куле 1-7 декабря 2015 г. перед Сарезским землетрясением 7 декабря 2015 года

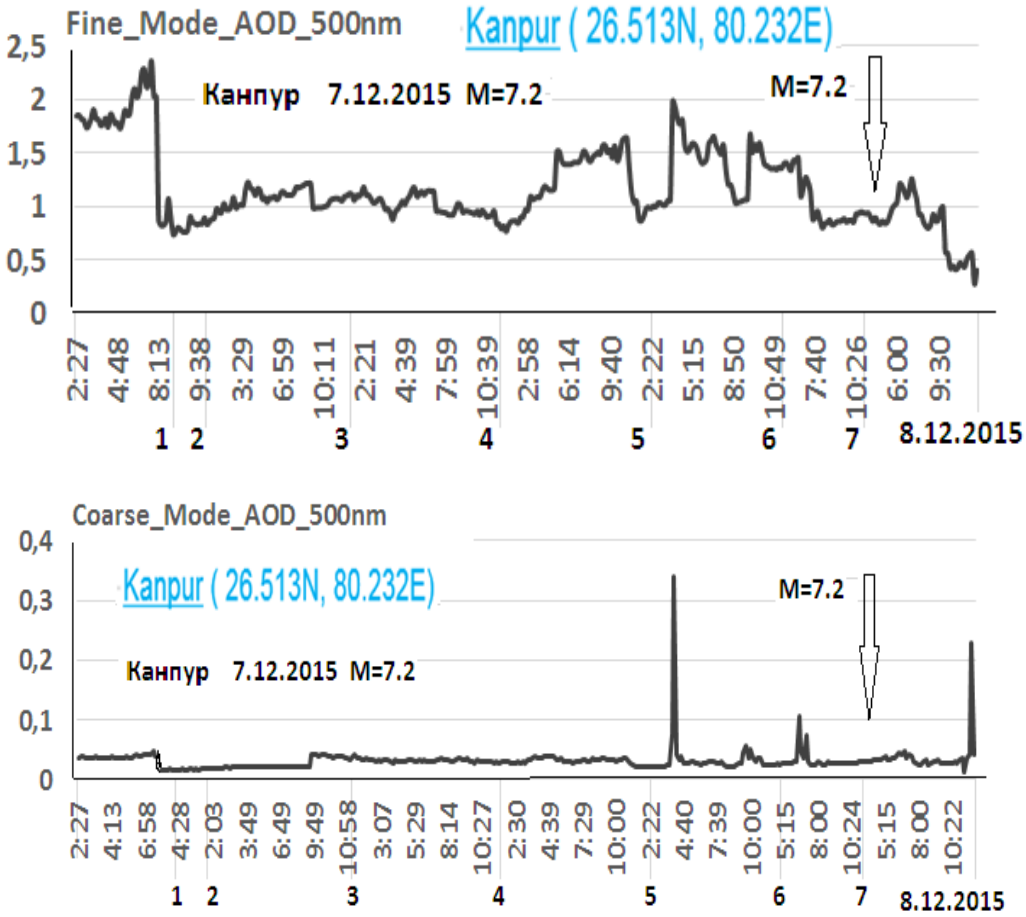

Рисунок 3.16 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля в Канпуре 1-7 декабря 2015 г. перед Сарезским землетрясением 7 декабря 2015 года

Таким образом, заблаговременно до предстоящего землетрясения происходит аномальное увеличение АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракции аэрозоля, т.е. различные ситуации сопровождаются различными фракциями аэрозоля, что связанно с изменением дисперсного состава аэрозоля в атмосфере.

3.3. Аномальное поведение параметр Ангстрема перед предстоящим землетрясением

Синхронно со сбоем функции температуры и давления, аномально низкой прозрачности атмосферы и аномально высоких значений АОТ (связанный с изменением дисперсности фракции аэрозоля) обнаружено аномальное поведение параметра Ангстрема.

Как видно для Афганского землетрясения (рисунок 17) происходит аномальный спад параметра Ангстрема, в эти дни обнаруженное аномальное поведение метеорологических и атмосферных параметров. Глубокий минимум означающий аномальное состояние атмосферы, указывает на присутствие аэрозоля в атмосфере.

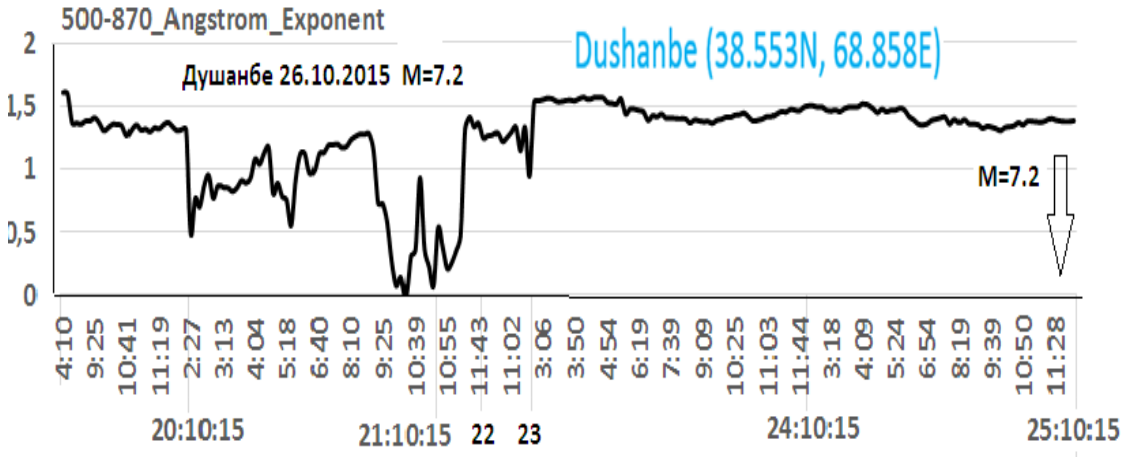

Рисунок3.17 - Ход параметра Ангстрема в г. Душанбе 20-26 октября 2015 г., перед Афганским землетрясением 26 октября

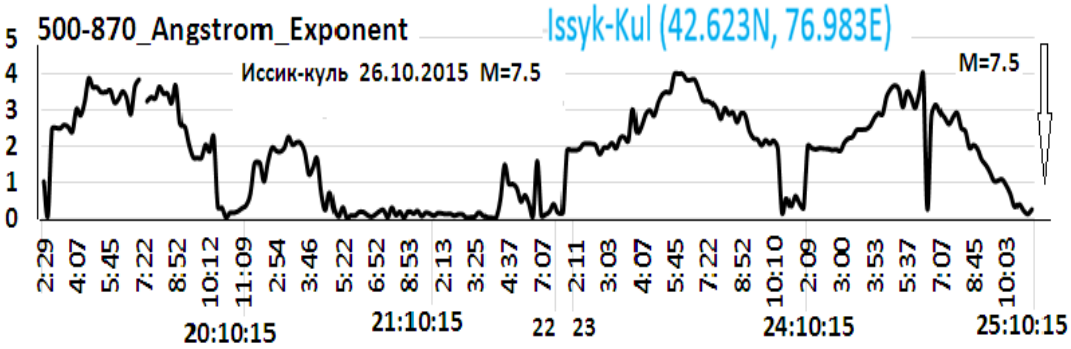

Рисунок 3.18 - Ход параметра Ангстрема в Иссык-Куле 20 -26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

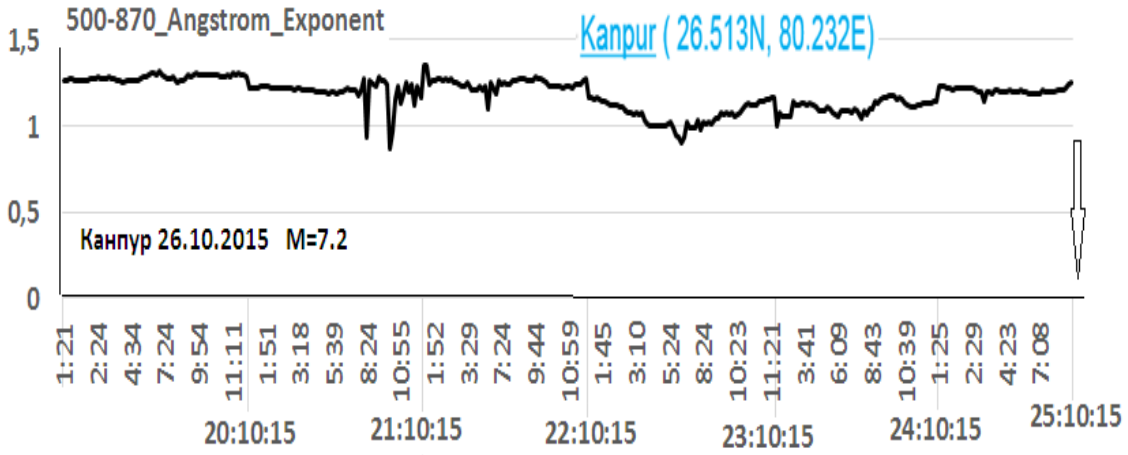

Рисунок 3.19 Ход параметра Ангстрема в Канпуре 20 -26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

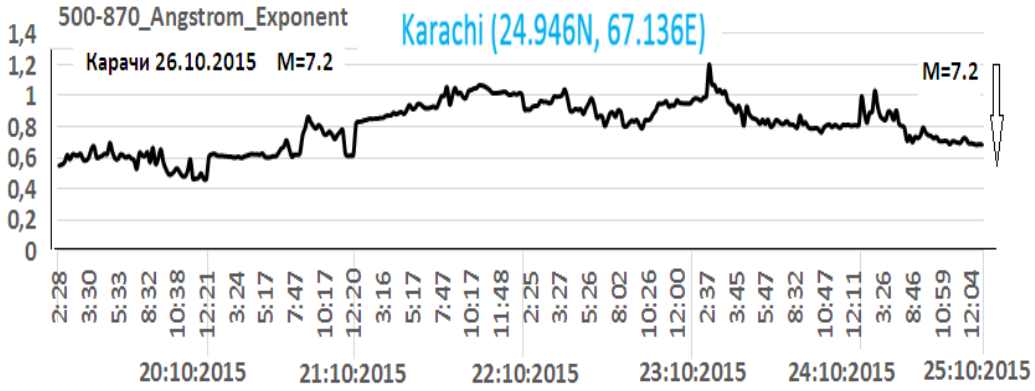

Рисунок 3.20 - Ход параметра Ангстрема в Карачи 20 -26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

Аномально низкие значения параметра Ангстрема обнаружено для Сарезского землетрясения 22 ноября 2015г (рисунок 3.21), для Гиссарского землетрясения 25 декабря 2015г (рисунок 3.22), для Сарезского землетрясения 7 декабря 2015г (рисунок 3.23), Филиппинского землетрясения 15октября 2015года (рисунок 3.24), Иранского землетрясения 12 ноября 2017г. (рисунок 3.22) и Мексиканского землетрясения 17 февраля 2018 г. (рисунок 3.26).

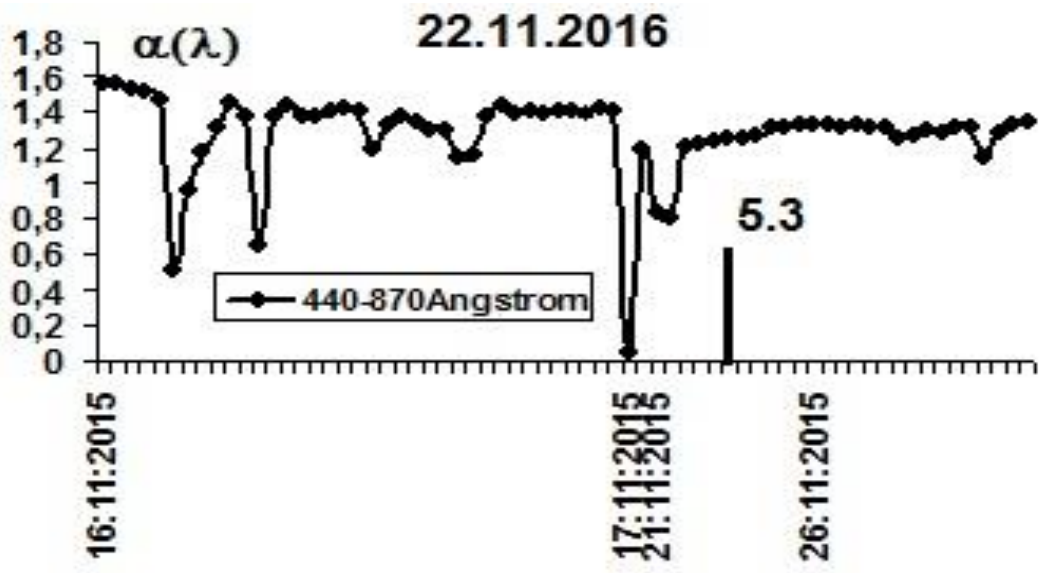

Рисунок3.21 - Ход параметра Ангстрема в г. Душанбе 16-26 ноября 2015 г., перед Сарезским землетрясением 22 ноября 2015 г.

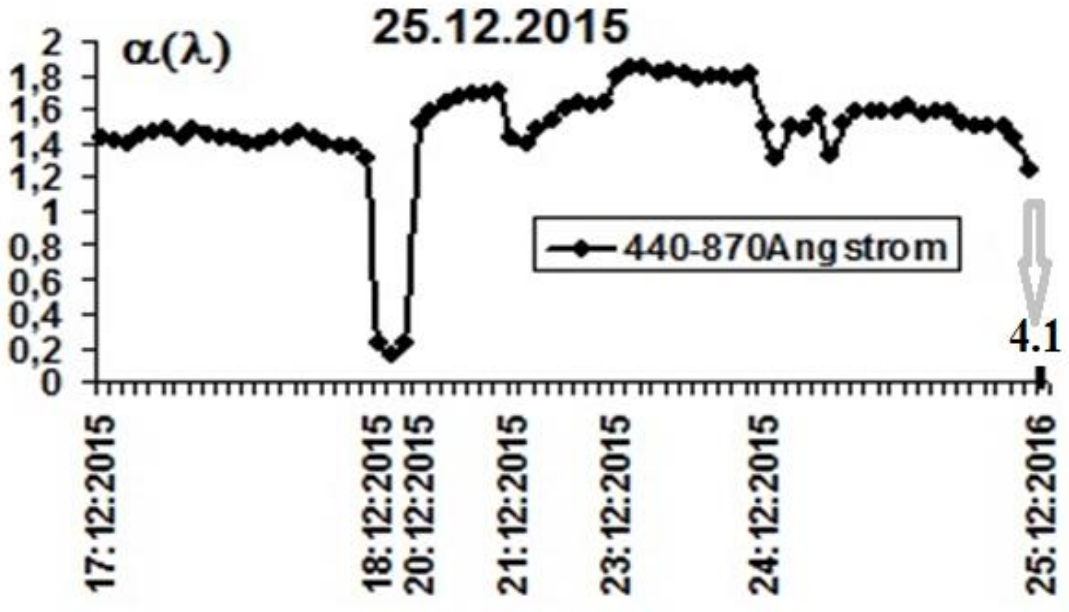

Рисунок3.22 - Ход параметра Ангстрема в г. Душанбе 17-25 декабря 2015 г., перед Гиссарским землетрясением 25 декабря 2015 г.

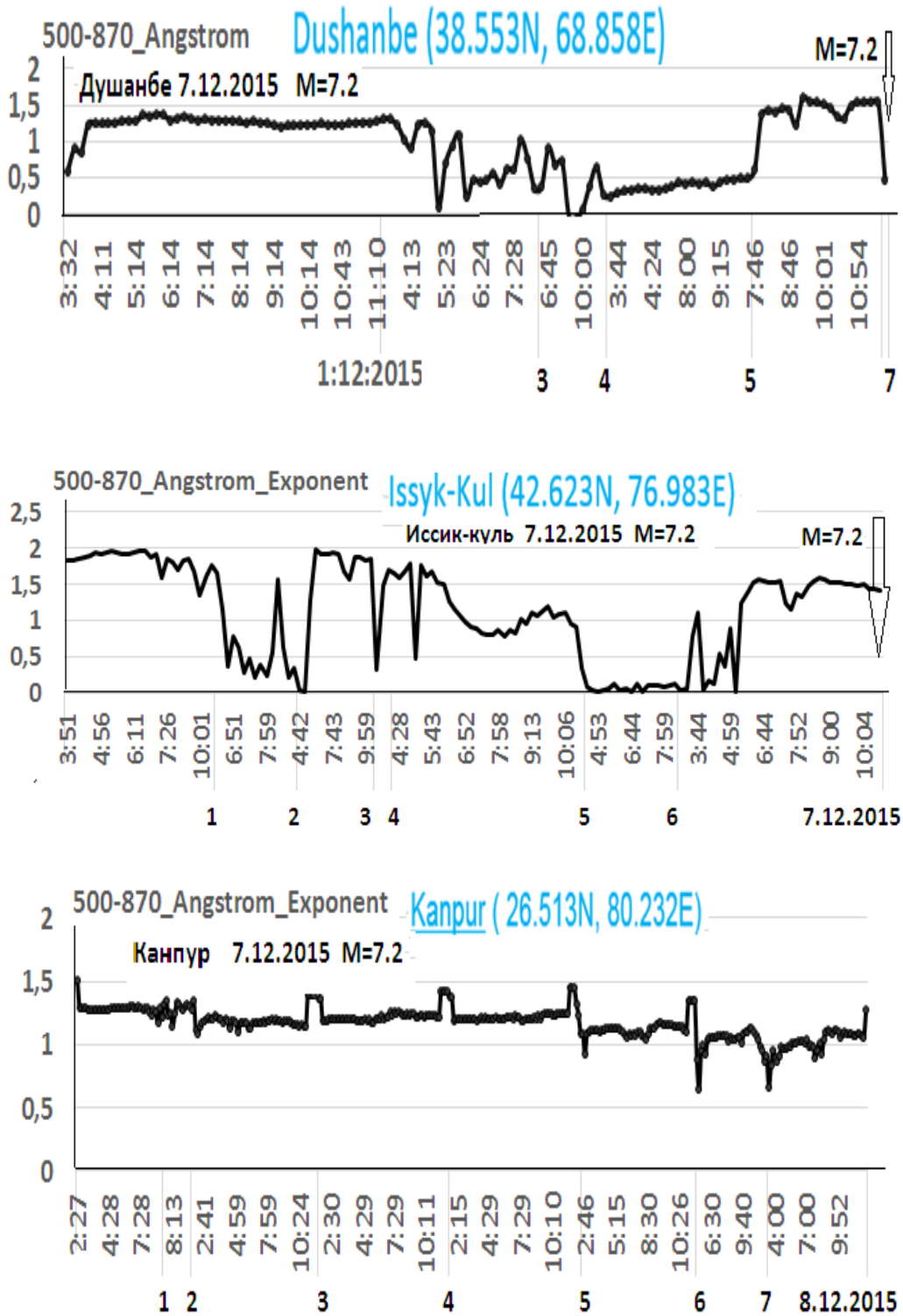

Рисунок 3.23 - Ход параметра Ангстрема в г. Душанбе, Иссык-Куль и Канпуре 01-07 декабря 2015 г., перед Сарезским землетрясением 7 декабря 2015 года

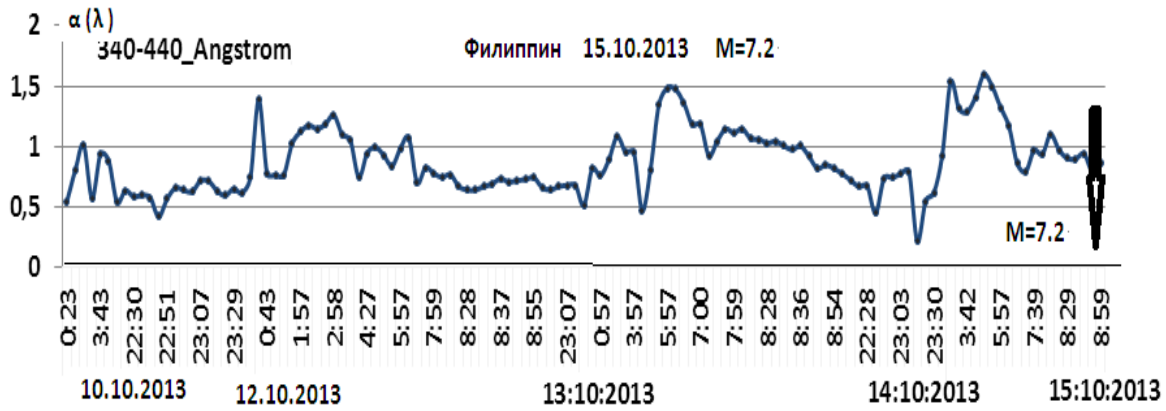

Рисунок3.24 - Вариация параметра Ангстрема на примере землетрясения на Филиппинах 15 октября 2013 г.

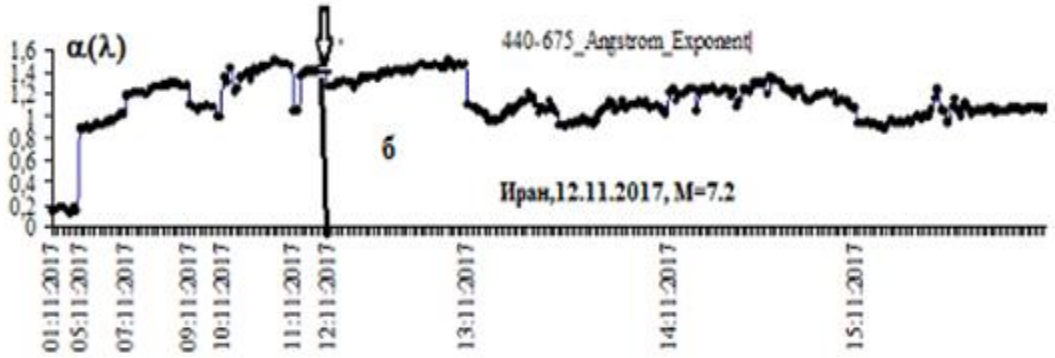

Рисунок3.25 - Вариация параметра Ангстрема на примере землетрясения в Иране 12 ноября 2017 г.

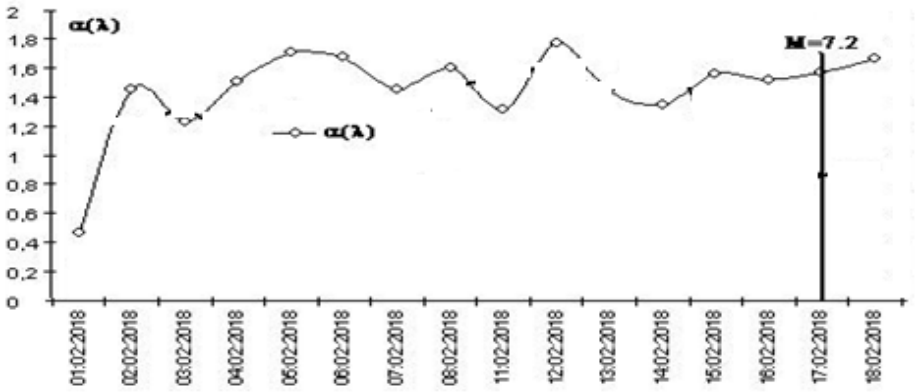

Рисунок 3.26 - Вариация параметра Ангстрема на примере, землетрясения в Мексике 17 февраля 2018 г .

Обнаружено, что при аномально высоком значении АОТ параметр Ангстрема сильно уменьшается, почти до нуля (например, в случае Сарезского землетрясения 22 ноября 2015 г. (рисунок 3.21) и 7 декабря 2015г (рисунок 3.23)), в других случаях оно незначительно уменьшается.

3.4. Аномальное поведение водяного пара в вертикальном столбе атмосферы перед сейсмическими событиями.

Предыдущие параграфы посвящены аномальному поведению метеорологических, оптических и микрофизических параметров атмосферы установленных заблаговременно до сейсмических событий. В этом параграфе приведено обнаруженное аномальное изменение газового состава атмосферы также заблаговременно до предстоящего сейсмического события. На рисунок 3.27 приведено обнаружение аномальное увеличение водяного пара в вертикальном столбе атмосферы, которое происходит синхронно с аномальным изменением метеорологических, оптических и микрофизических параметров атмосферы. Если при спокойной атмосфере на Земле изменение содержания водяного пара происходит линейно, то при активизации сейсмических событий заблаговременно до землетрясения линейное изменение содержания водяного пара, нарушается и происходит резкое нелинейно аномальное изменение водяного пара в вертикальном столбе атмосферы. Это нелинейное аномальное изменение, по - видимому, связано с тем, что перед предстоящим событиям в очаге происходит выход электронов, радона, водорода, метана и других газов в атмосфере вблизи очага. Эти электроны и газы в атмосфере вступают в реакцию с атмосферными газами и приводят к аномальным изменениям газового состава атмосферы. Установлено [27-30], что выходящие электроны из очага предстоящего землетрясения приводят к изменению F-слоя ионосферы.

Известно [16], что на ориентацию дипольного момента молекул водяного пара в атмосфере влияет электростатическое поле. На рисунок 3.27 представлена динамика изменения водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в октябре 2015 г. Наблюдаемый аномальный рост водяного пара 17 октября и 22 октября 2015 года, как отмечено выше, возможно, обусловлено влиянием выхода в атмосферу некоторых газов из земной коры: радона, водорода, метана и гелия перед предстоящим землетрясением. Считается, что явление возникновения поляризационных аномалий электромагнитного поля,

может быть одним из признаков – предвестников предстоящего землетрясения [16].

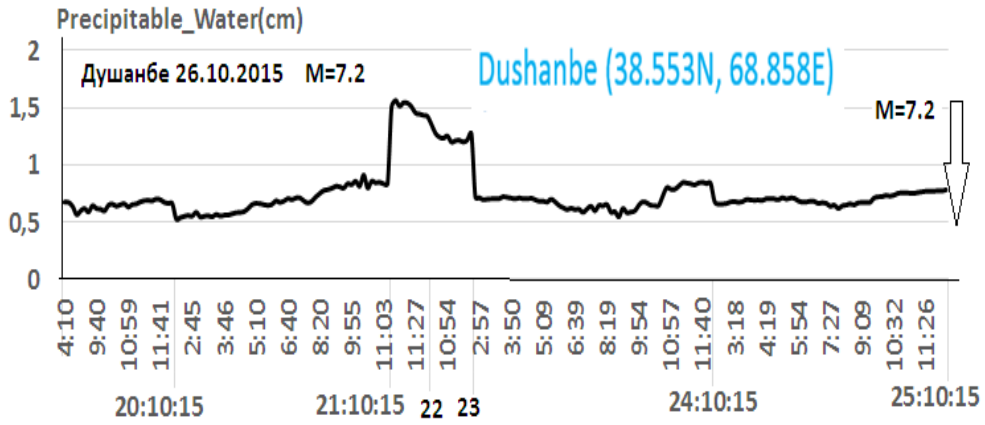

Рисунок 3.27 - Ход общего содержания водяного пара, в вертикальном столбе атмосферы в г. Душанбе 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

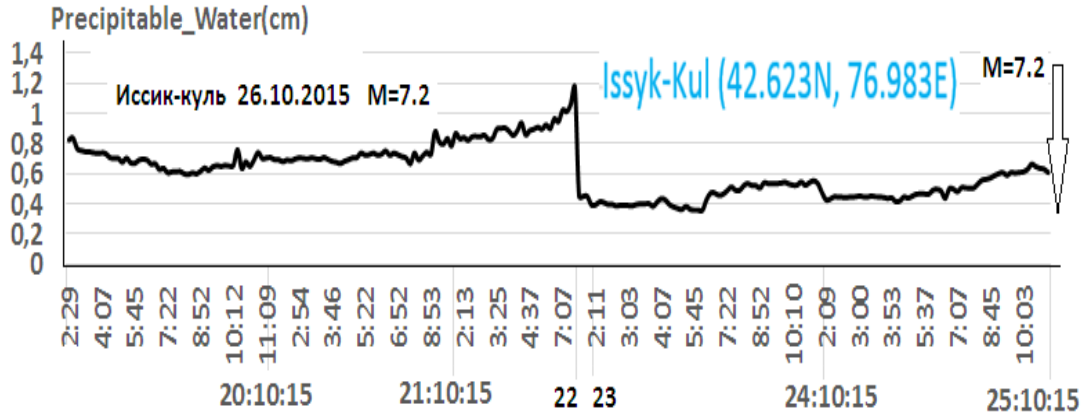

Рисунок 3.28. - Ход общего содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в Иссык-Куле 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

Электрическое поле в атмосфере возникает, вероятно, за счет радиоактивного распада радона и он приводит к ионизации молекул воздуха и аэрозолей. Известно, что молекула воды (H_2O) имеет постоянный некомпенсированный дипольный момент. Взаимосвязь электрического дипольного момента единицы объема воздуха с молекулами воды можно выразить как [17]:

$$P = a_э NE$$

где $a_э$- коэффициент электрической поляризуемости молекул;

N - число частиц в единице объема;

E [в/м] - величина электрической напряженности возникающего поля.

Зависимость поляризуемости молекул с диэлектрической проницаемостью (ε) вещества определяется как [17] :

$$(\varepsilon - 1) \cdot \varepsilon_0 \cong N\left(a_1 + a_2 + \frac{M_{\partial p}^2}{3kT^0}\right)$$

где a_1 - коэффициент ионной поляризуемости, M_d - дипольный момент молекул, k- постоянная Больцмана, T-температура воздуха.

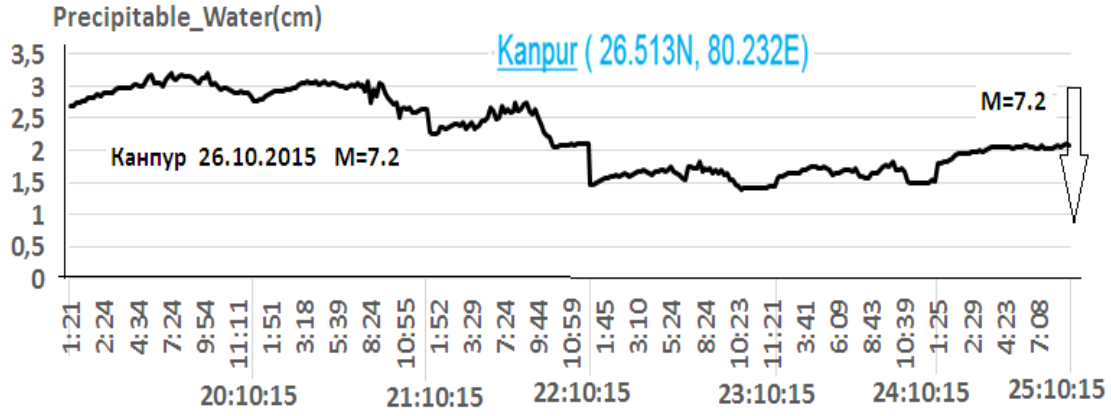

Рисунок 3.29 - Ход общего содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в Канпуре 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

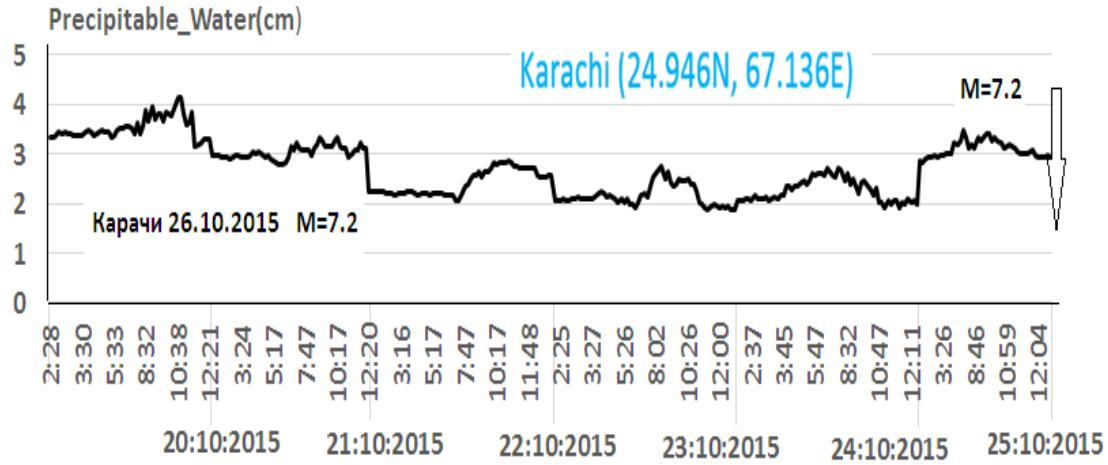

Рисунок 3.30 - Ход общего содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в Карачи 20–26 октября 2015 г., перед афганским землетрясением 26 октября

Обнаружено аномальное изменение водяного пара перед Сарезским землетрясениям 22 ноября 2015 г. (рисунок 3.31), Гиссарским землетрясением 25 декабря 2015 г. (рисунок3.32), перед Сарезским землетрясением 07 декабря 2015 Душанбе, Канпуре и Иссык-Куле 01-07 декабря 2015 г. (рисунок3.33), перед Иранским землетрясением 12 ноября 2017 (рисунок3.34) и Мексиканским землетрясением 17 февраля 2018 г. (рисунок3.35).

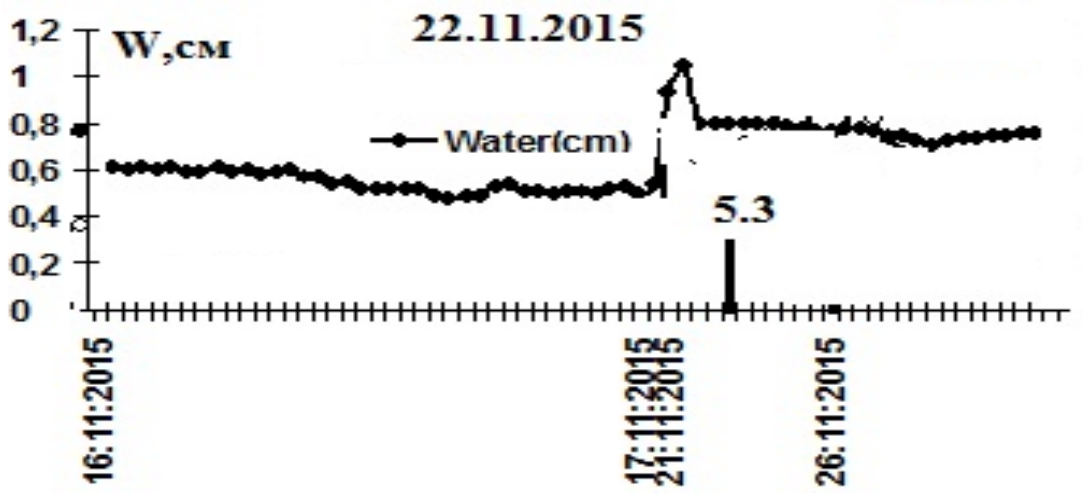

Рисунок 3.31 - Ход содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в г. Душанбе 16-26 ноября 2015 г., перед Сарезским землетрясением 22 ноября 2015 г.

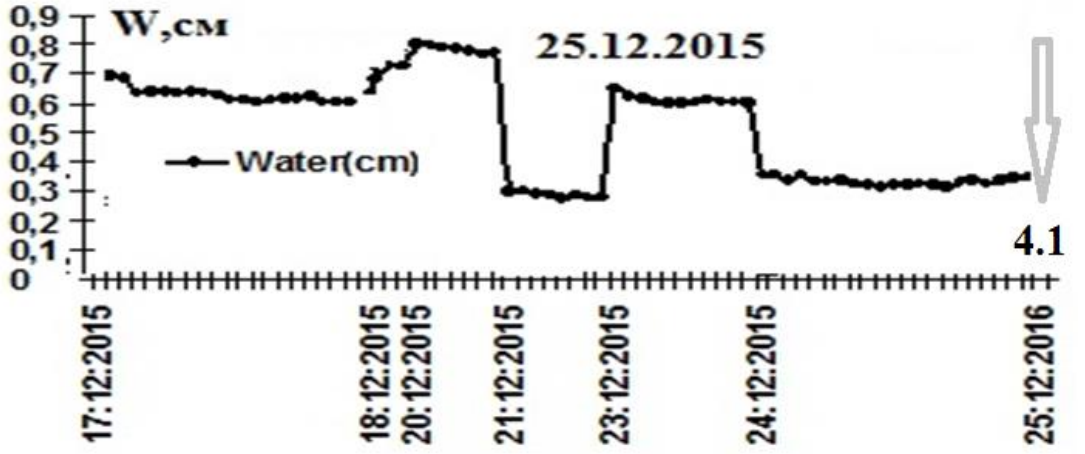

Рисунок 3.32 - Ход содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в г. Душанбе 17-25 декабря 2015 г., перед Гиссарским землетрясением 25 декабря 2015 г.

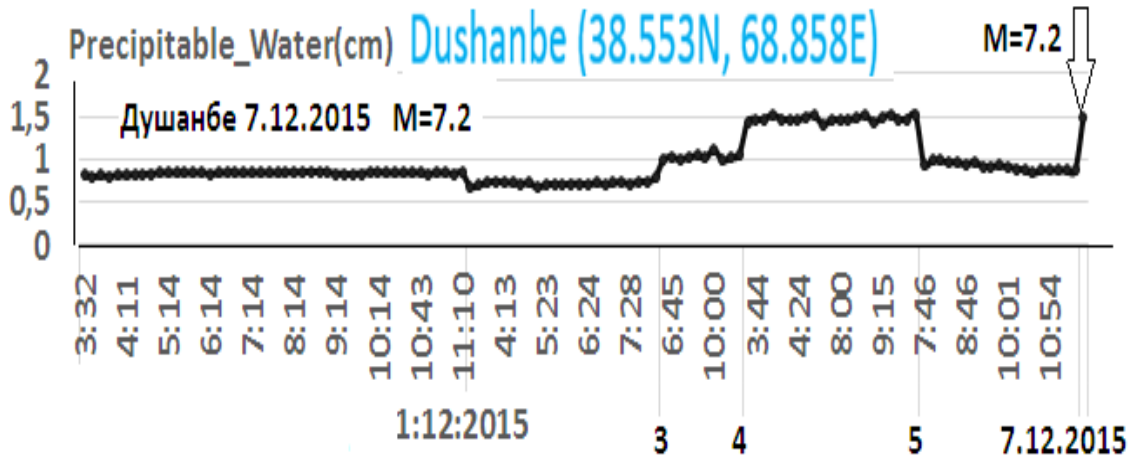

Рисунок.3.33а. - Ход содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в г.Душанбе 01-07 декабря 2015 г., перед Сарезским землетрясением 07 декабря 2015 года

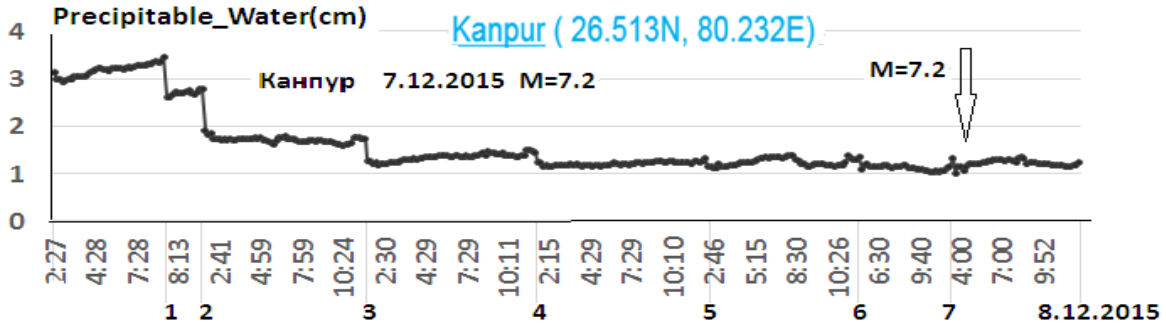

Рисунок.3.33б. - Ход содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в Канпуре 01-07 декабря 2015 г., перед Сарезским землетрясением 07 декабря 2015 года

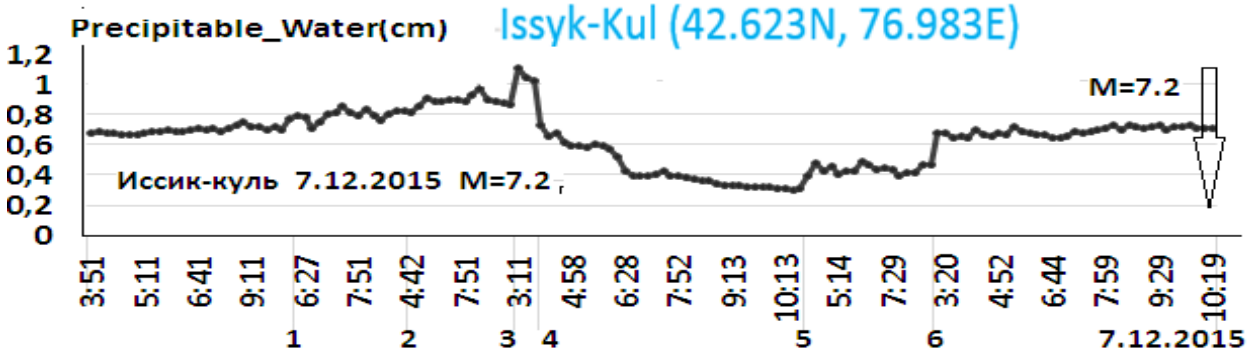

Рисунок.3.33в. - Ход содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в Иссык -Куле 01-07 декабря 2015 г., перед Сарезским землетрясением 07 декабря 2015 года

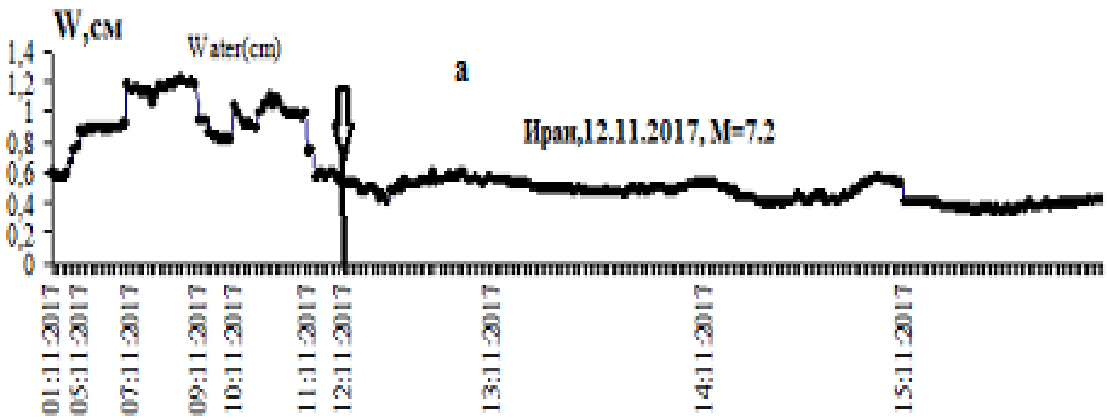

Рисунок 3.34- Вариация содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в Иране 12 ноября 2017 г.

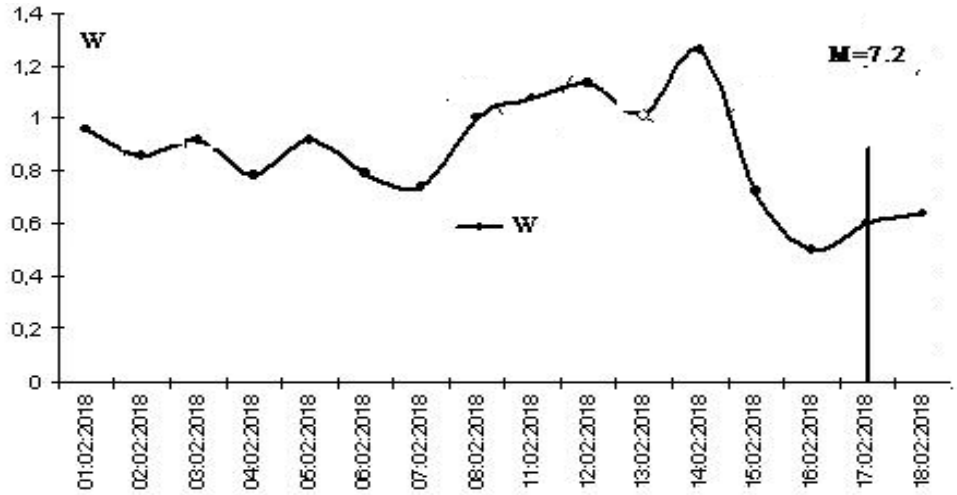

Рисунок 3.35 - Вариация содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в Мексике 17 февраля 2018 г.

3.5. Изменение дисперсного состава атмосферного аэрозоля

Как видно, перед предстоящим землетрясением происходит изменение дисперсного состава атмосферных частиц (рисунок 3.36).

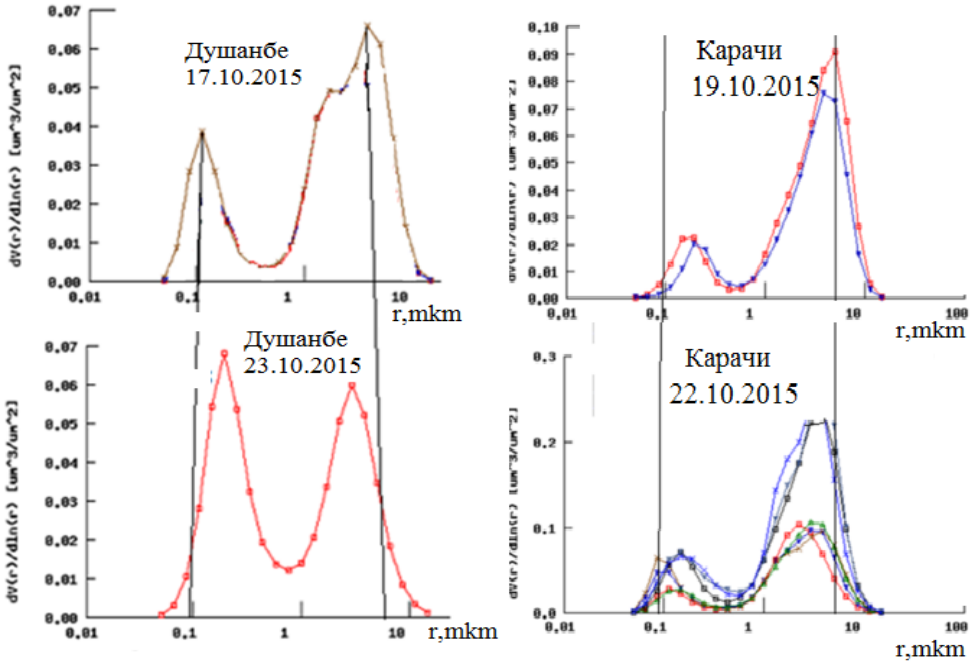

Рисунок 3.36 - ФРЧР в период Афганского землетрясения в г. Душанбе и Карачи в обычном и при аномальном АОТ

Максимум в субмикронной области перемещается в область r=0.3мкм, а в области крупнодисперсной фракции максимум перемещается в область r=5мкм (тогда как в обычных условиях максимумы находятся в области 0.1 и 7.5мкм).

Коэффициент отражения светового потока на границе раздела двух сред с коэффициентами преломлениями n_1 и n_1 можно выразить как:

$$K_{отр}=(n_2-n_1)/(n_2+n_1)$$

Так как, является функцией коэффициента преломления, а последнее зависит от первичных параметров среды, $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$, для воздуха μ=1, поэтому коэффициент преломления:. $\mathbf{n} = \sqrt{\varepsilon}$ В соответствии с классическим представлением электроны и атомы вещества под воздействием световой волны совершают вынужденные колебания [17]. Коэффициент преломления n зависит

от концентрации вторичных излучателей в воздухе, благодаря наличию собственной частоты атомов и молекул:

$$n \approx 1 + \sum \frac{N_i\, e}{\pi m_i c^2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\lambda_{0i}^2} - \frac{1}{\lambda^2}}$$

Изменения оптических постоянных среды (n, k) и коэффициента отражения падающего света в зоне электростатической напряженности «купола» предстоящего землетрясения приводит к изменению оптической толщины атмосферы и аэрозолей (рисунок3.37).

При сравнении каждого сценария по оптическим постоянным выясняется следующее: в случае землетрясения 13.10.2015 г., коэффициент поглощения по сравнению с ясной атмосферой 01.10.2015 г. в предшествующий аномальный день 11.10.2015 г., уменьшается в пределах 3.43-4.44 раза. В случае землетрясения 20.10.2015 г., в аномальный день коэффициент поглощения 13.10.2015 г., уменьшается от 1.53 до 2.66 раза по сравнению с ясной погодой (спокойной ситуацией).

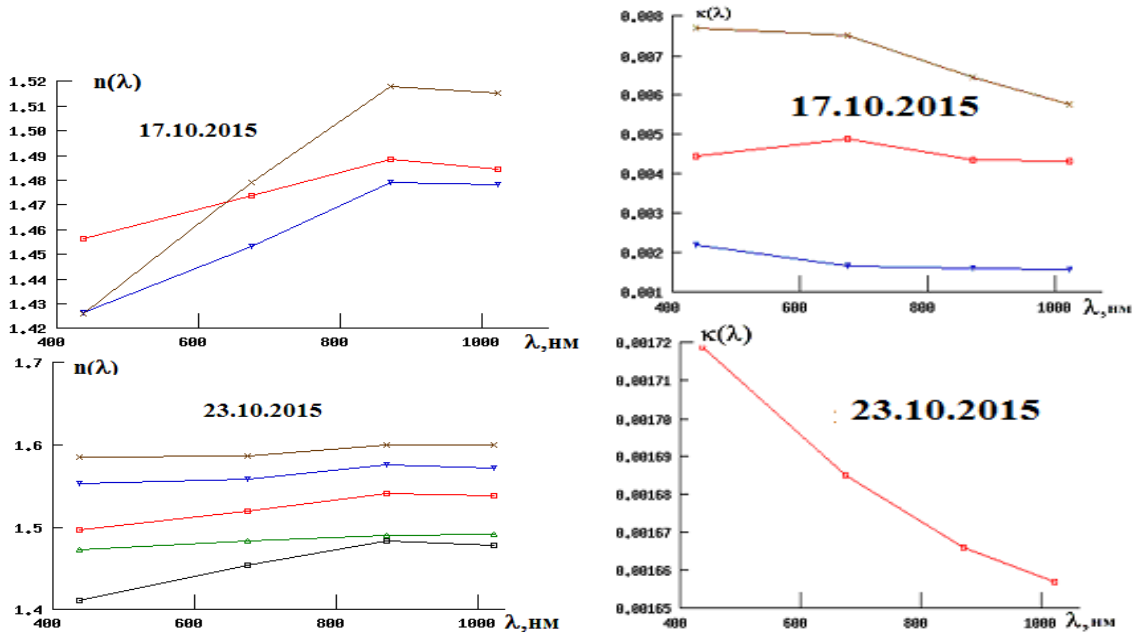

Рисунок 3.37 - Динамика коэффициенты преломления и поглощения падающего светового потока в атмосфере г. Душанбе, 17 октября и 23 октября 2015 г.

В случае землетрясения 26.10.2015 г. в аномальный день 23.10.2015 г.г., по сравнению с ясным днем уменьшается от 6.97 до 24.24 раза. Возможно, величины уменьшения коэффициента поглощения прямо зависит от магнитуды сейсмических событий, что составляет: 4.5; 3.8 и 7.2, соответственно.

Для Сарезского землетрясения поведение функции распределения частиц по размерам для спокойной атмосферы 01.12.2015 г. и аномальное изменение 17.12.2015 г. свидетельствуют об изменения амплитуды и положения максимума в данном случае dV(r)/dln(r) (рисунок 3.38) в сторону меньших размеров как субмикронной, так и крупнодисперсной фракции аэрозоля. Обнаруженное уменьшение показателя поглощения аэрозоля (рисунок 3.39) при аномальном изменении в случае спокойной атмосферы составляет от 3 до 16 раза, что связано с увеличением размеров частиц крупнодисперсной фракции (см. рисунок 3.39). Наблюдается незначительное увеличение показателя преломления при высоких АОТ.

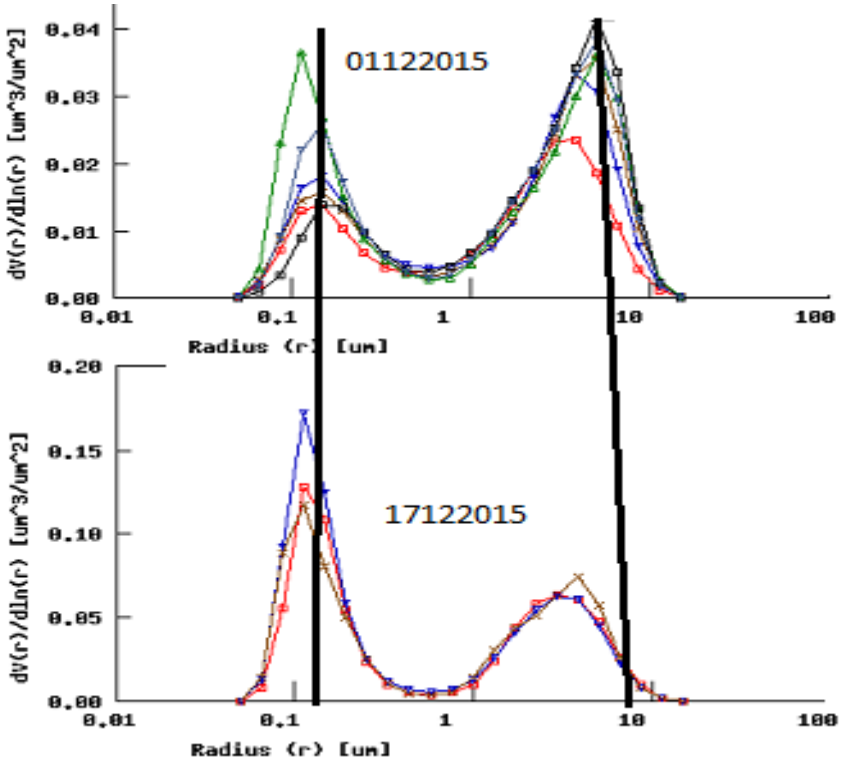

Рисунок 3.38 - Изменения ФРЧР в период Сарезского землетрясения

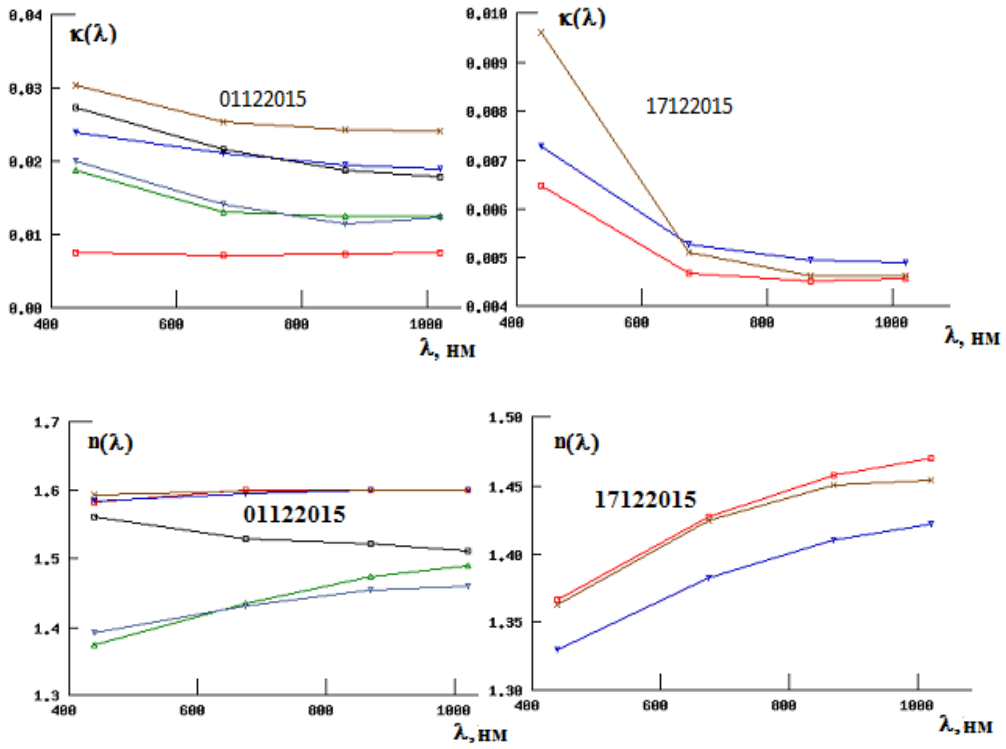

Рисунок 3.39 - Динамика спектров оптических параметров аэрозоля в период Сарезского землетрясения

ФРЧР для Гиссарского землетрясения для спокойной атмосферы 15.12.2015 г., и аномальное изменение 17.12.2015 г., также свидетельствуют об изменении амплитуды и положения максимума в данном случае dV(r)/dln(r) (рисунок 3.39) в сторону меньших размеров как субмикронной, так и крупнодисперсной фракции аэрозоля. Обнаружено уменьшение отношения показателя поглощения аэрозоля (рисунок 3.40) при аномальном изменении к спокойной атмосфере составляет от 3,6 до 4,5 раза, что связано с увеличением размеров частиц крупнодисперсной фракции (см. рисунок 3.13). Наблюдается также незначительное увеличение показателя преломления при высоких АОТ.

На последующих рисунках (рисунок 3.43 – рисунок 3.48) приведены ФРЧР и оптические параметры аэрозоля в период землетрясения на Филиппинах, Иране и Мексике. Во всех сейсмических событиях обнаружено изменение амплитуды и положения максимумов функции распределения частиц аэрозоля в атмосфере в сторону меньших размеров и значительное уменьшение коэффициента поглощения аэрозольных частиц, что указывает на изменение дисперсности частиц.

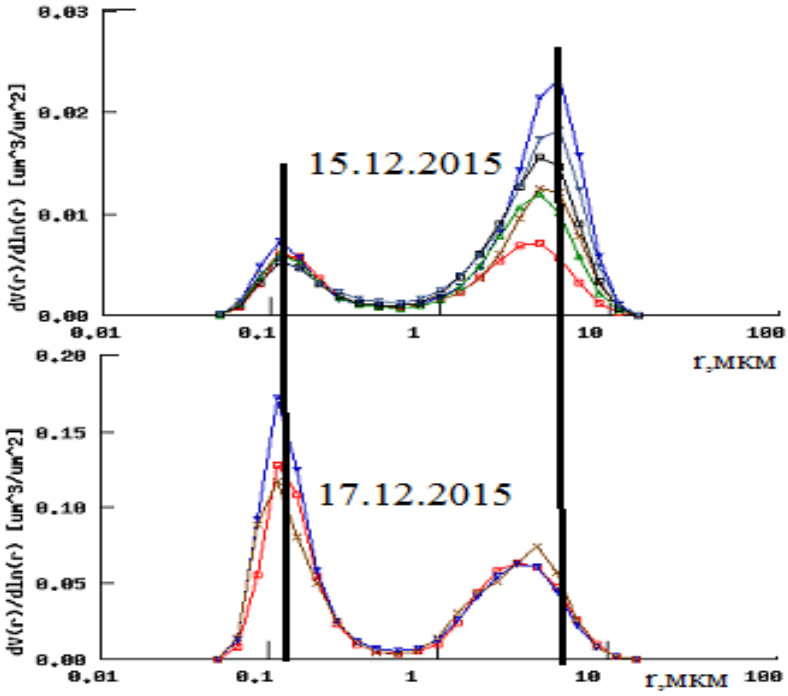

Рисунок 3.40 - Динамика ФРЧР в период Гиссарского землетрясения

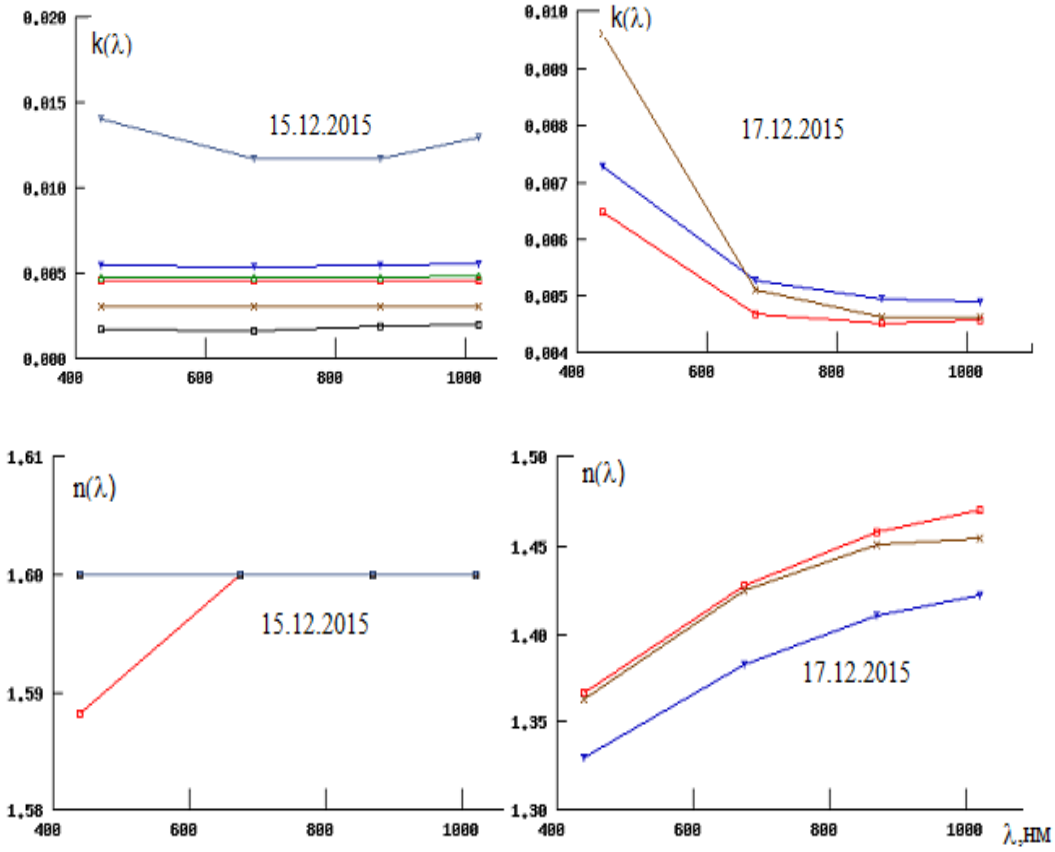

Рисунок 3.41 - Динамика спектров оптических параметров аэрозоля в период Гиссарского землетрясения

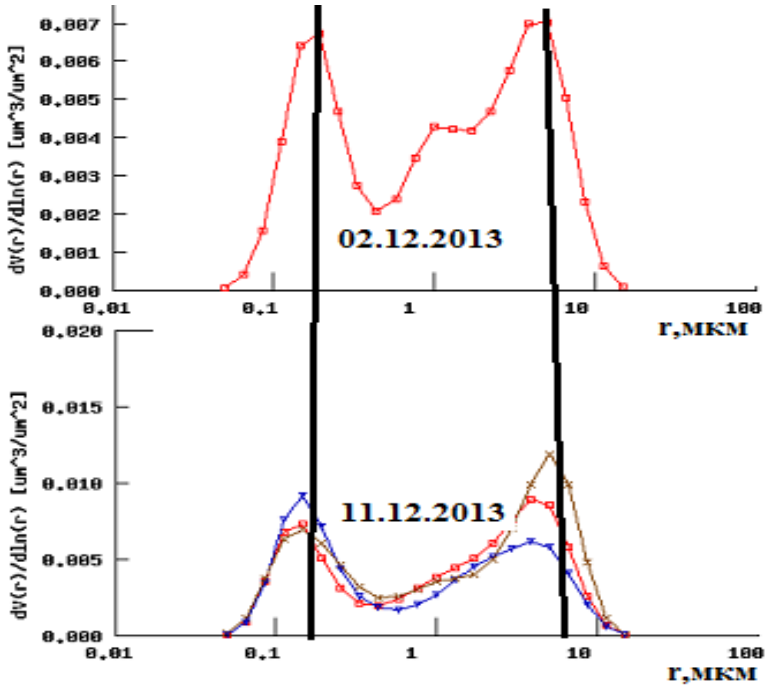

Рисунок 3.42- Динамика ФРЧР в период Филиппинского землетрясения

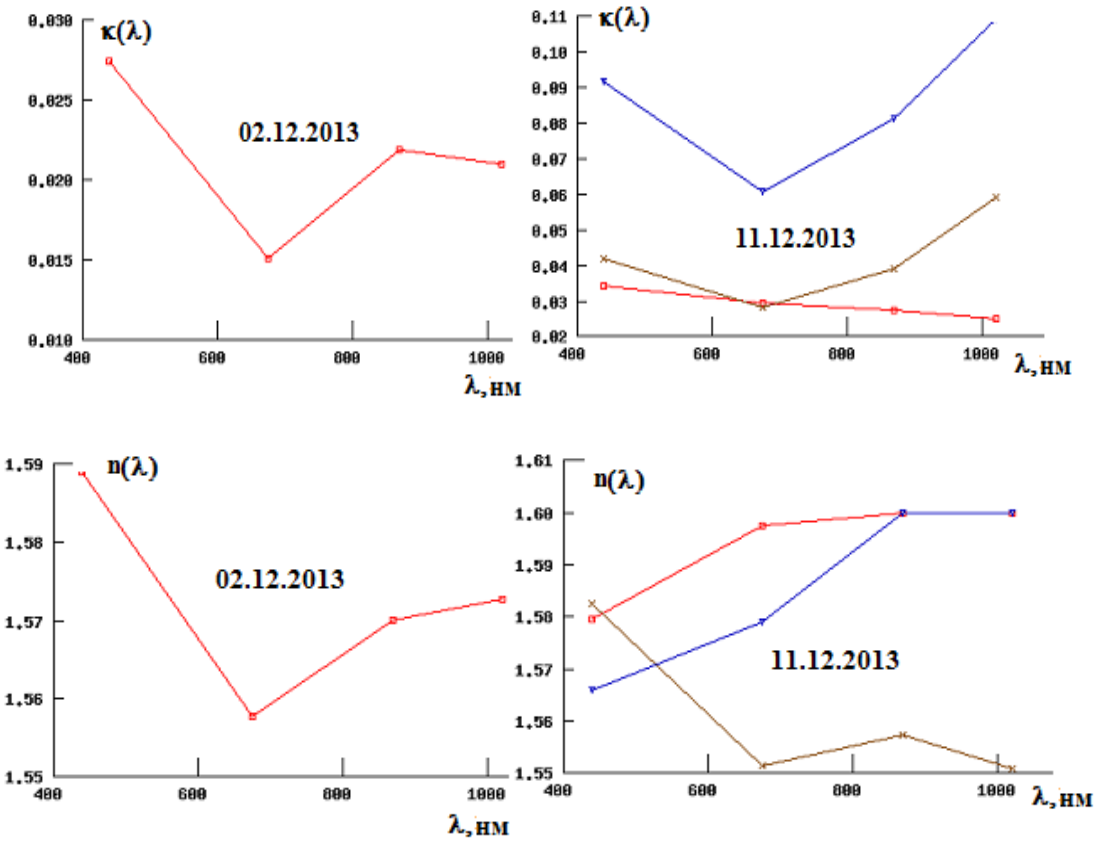

Рисунок 3.43- Динамика спектров оптических параметров аэрозоля в период Филлипинского землетрясения

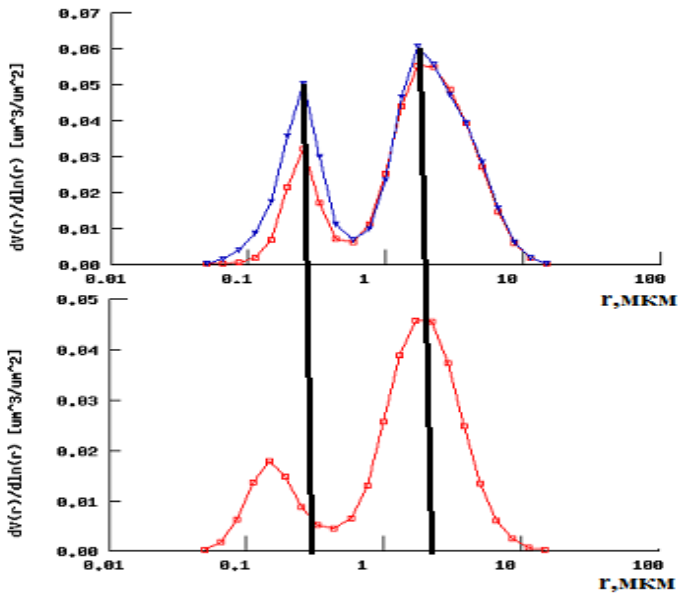

Рисунок 3.44 - Динамика ФРЧР в период Иранского землетрясения

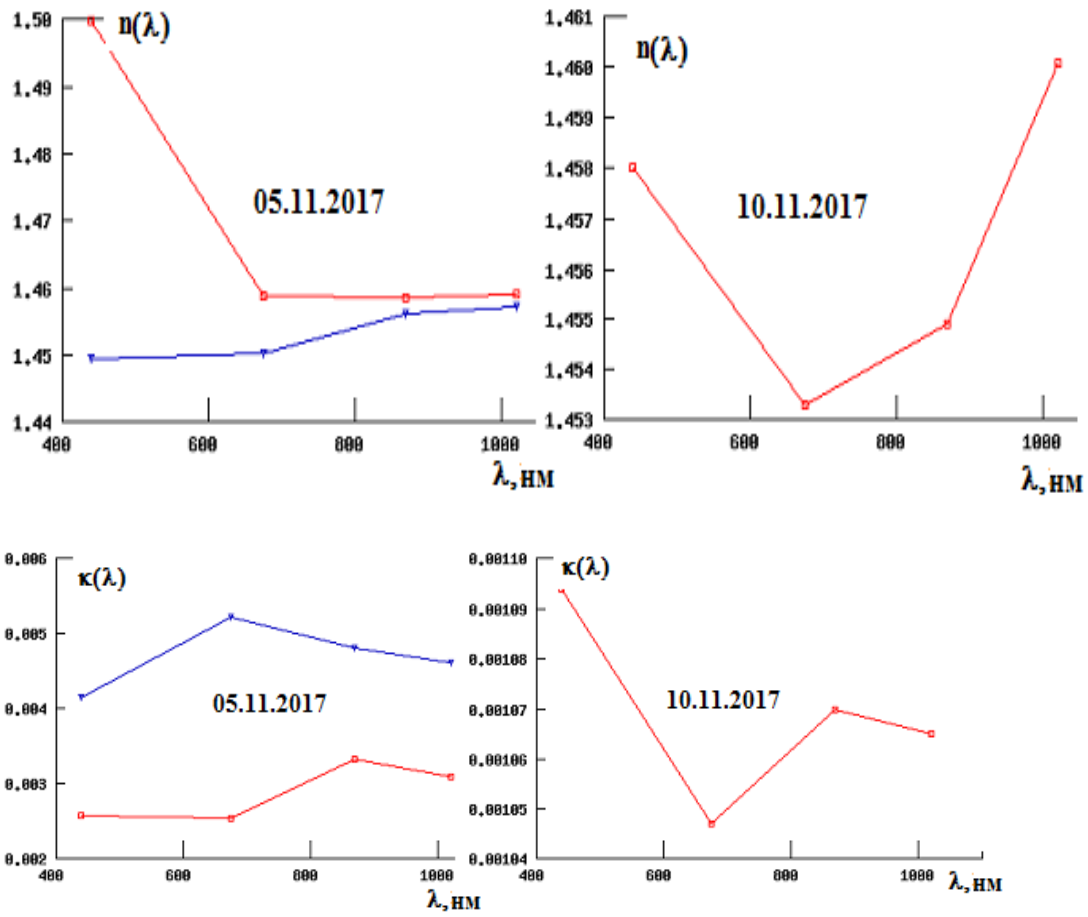

Рисунок 3.45 - Динамика спектров оптических параметров аэрозоля в период Филиппинского землетрясения

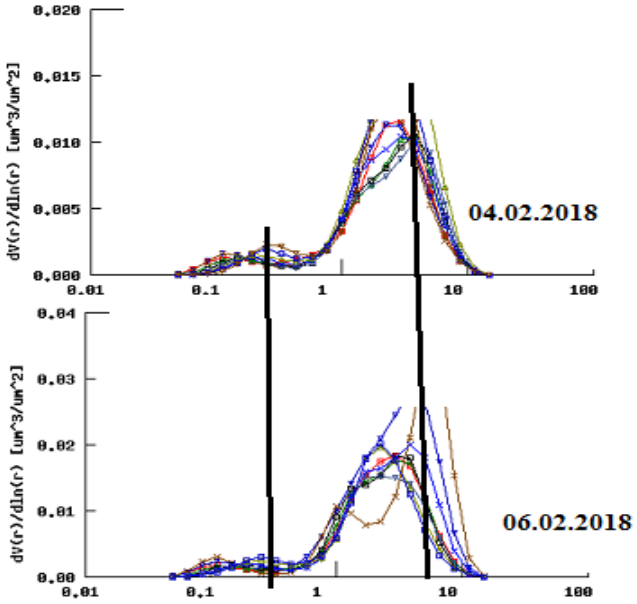

Рисунок 3.46 - Динамика ФРЧР в период Мексиканского землетрясения

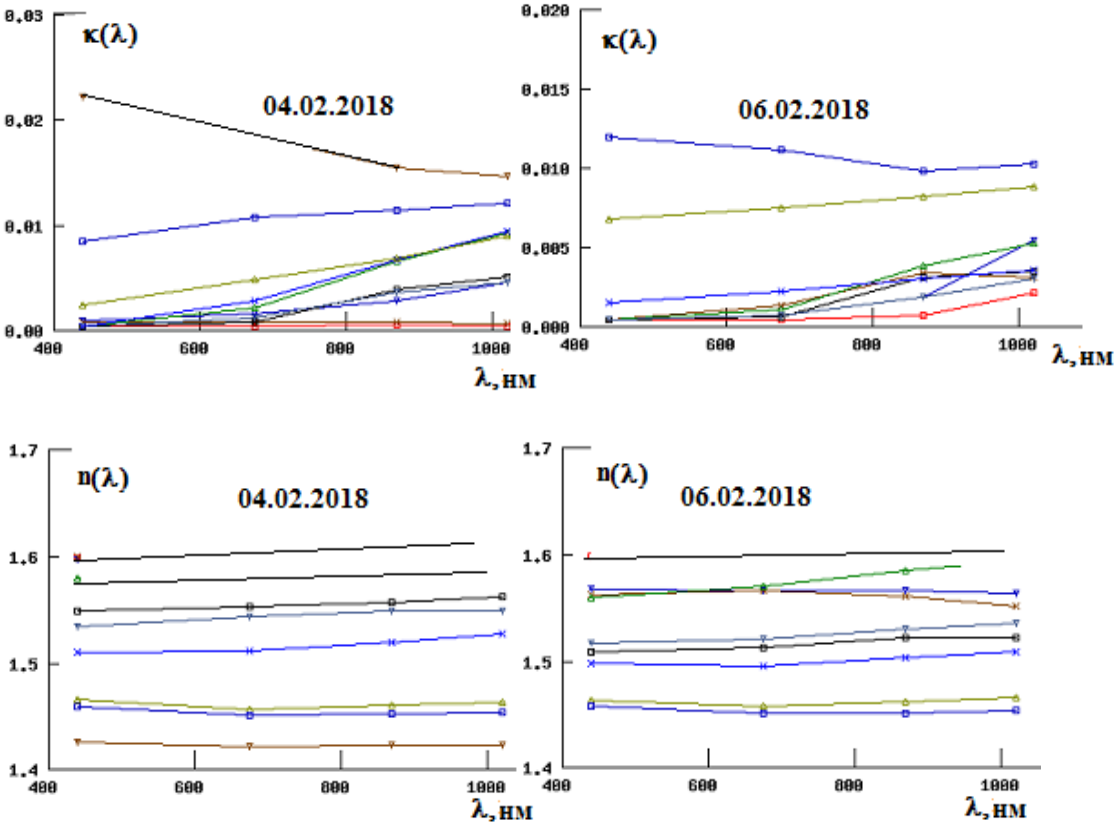

Рисунок 3.47 - Динамика спектров оптических параметров аэрозоля в период Мексиканского землетрясения

Изменения дисперсности частиц связано с тем, что в очаге землетрясения при предстоящих сейсмических событиях в атмосфере происходит сбой

функции температуры и давления, происходит рост относительной влажности атмосферного воздуха и рост содержания водяного пара в атмосфере, в частицах атмосферного аэрозоля происходит процесс коагуляции, увеличения размеров частиц.

3.6. Вариация атмосферных предвестников землетрясения по крупным сейсмическим событиям

Выше были анализированы афганское землетрясение 26.10.2015 г. с магнитудой M=7.2. Сарезское землетрясение 07 декабря 2015года M=7.2. Филиппинское землетрясения 15 октября 2013 года магнитудой 7,2, землетрясения в Иране, Турции, Мексики и Чили.

Далее представлены исследование явления аномального поведения аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы (прозрачности атмосферы), общего содержания водяного пара (ОСВП) в вертикальном столбе атмосферы, параметра Ангстрема, аэрозольной оптической толщи субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля перед крупными сейсмическими событиями.

Землетрясение на Гаити 12.01.2010, M=7.2. Землетрясение на Гаити в 2010 году унесло жизни более 220 тысяч человек, 300 тысяч получили ранения, а более 800 тысяч пропали без вести. Это второе мощнейшее землетрясение на Гаити, первое произошло в 1751 году – тогда городу пришлось восстанавливать в течение последующих 15 лет.

Обработка данных станции вблизи Гаити (Ragged point - координаты: 13,165с.ш. 59,432 в.д. 40 м.н.у.м.) свидетельствует об аномальном падении прозрачности атмосферы начиная с 4 января 2010 года, достигая минимума 5 января 2010г., то есть за 6 дней до крупнейшего землетрясения (рисунок 3.48). Аномальное поведение АОТ приведено на рисунок 3.50.

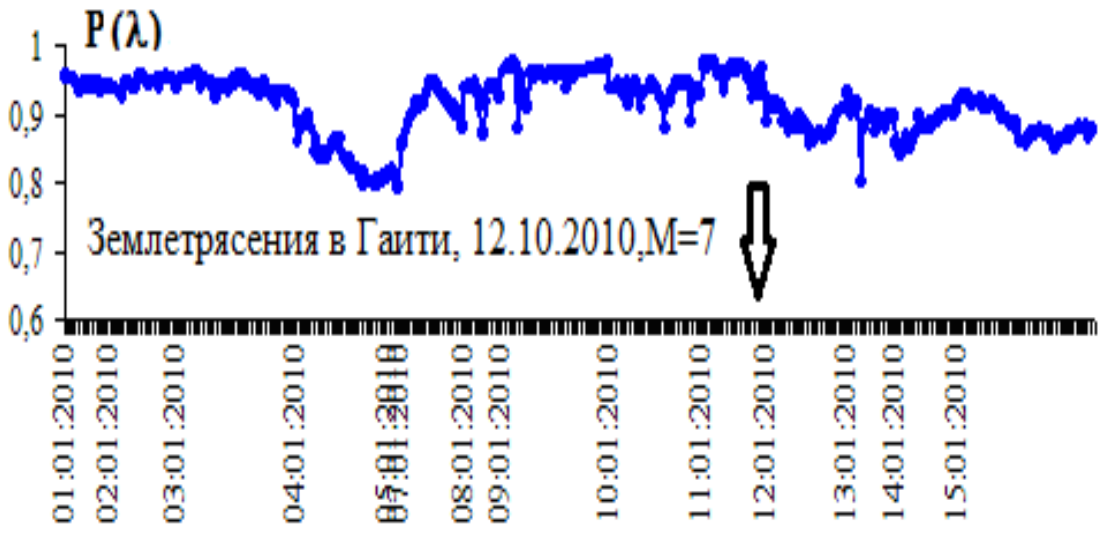

Рисунок 3.48 - Ход прозрачности атмосферы перед землетрясением в Гаити 12 октября 2010года

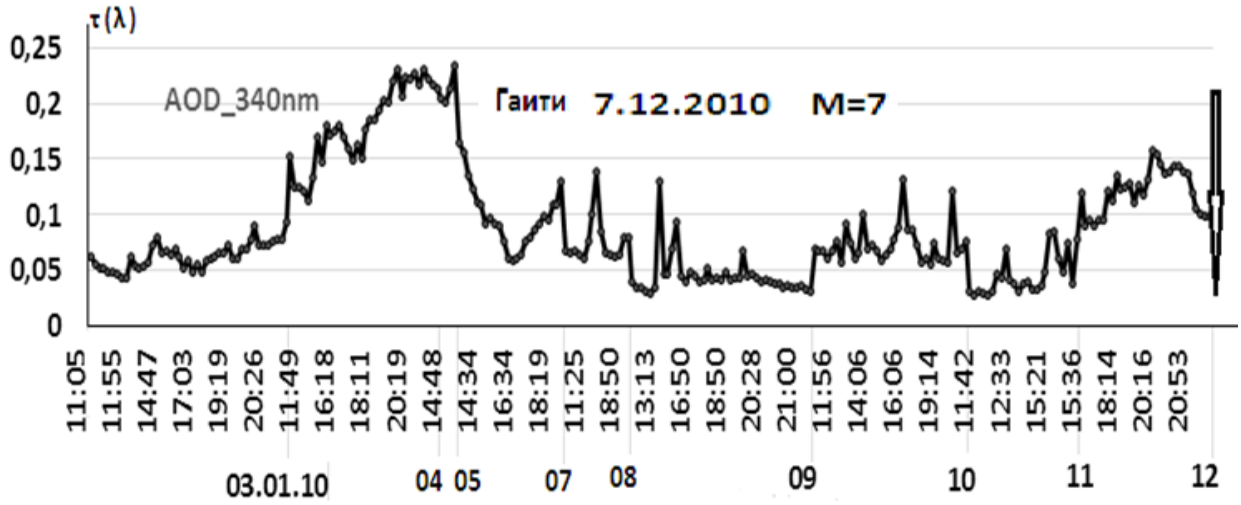

Рисунок 3.49 - Ход АОТ атмосферы перед землетрясением в Гаити 12 октября 2010года

Доминирующий вклад в аномальное изменение АОТ вносят субмикронные частицы (рисунок 3.50) резкий максимум АОТ зарегистрирован 09 января, за три дня до крупнейшего землетрясения 12 января 2010г. В этот период наблюдается аномальный рост параметра Ангстрема, что подтверждается увеличением доли субмикронных частиц (рисунок 3.51).

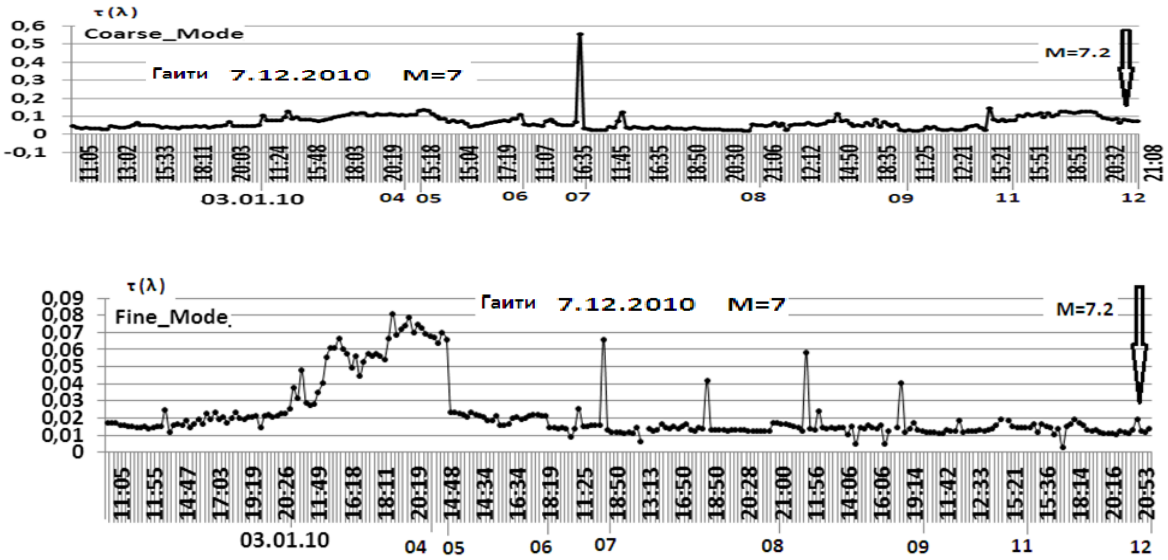

Рисунок 3.50 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля перед землетрясением на Гаити 12 октября 2010года

Зарегистрировано аномальное падение содержания водяного пара с минимумом 07 января, то есть за 5 дней до сейсмического события (рисунок 3.51).

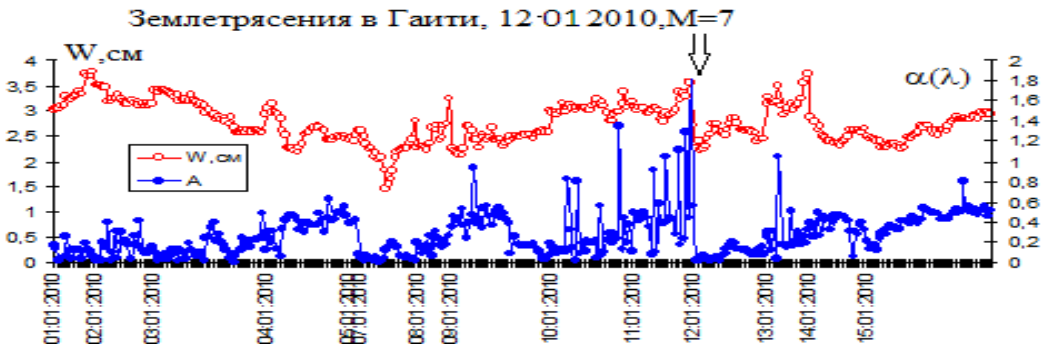

Рисунок 3.51 - Ход параметра Ангстрема и общего содержания водяного пара перед землетрясением на Гаити 12 января 2010года

Землетрясения в Фукусиме 11 марта 2011г., M=9.1. Самое сильное землетрясение в этой стране произошло в 2011 году, амплитуда колебаний составила 9 баллов. Сумма ущерба после разрушений достигла 309 млрд.доллар. При обработке данных по станции AERONET Осака (координаты: 34, 651с.ш. 135,591в.д. 40 м.н.у.м.) обнаружено аномальное изменение прозрачности атмосферы, начиная с 04 февраля 2011года, то есть

заблаговременно до крупнейшего землетрясения 11 марта 2011года в Фукусиме (рисунок 3.52).

Рисунок 3.52 - Ход прозрачности атмосферы перед землетрясением в Фукусиме 11 марта 2011года

Аномальный минимум прозрачности зарегистрирован 7 февраля 2011года. Рисунок 3.53 показывает аномально высокое значение АОТ 07 февраля 2011года. Если аномальный максимум АОТ 05 февраля связан с ростом крупнодисперсных частиц, то аномальное увеличение АОТ 07 февраля связано с аномальным ростом субмикронных частиц атмосферы (рисунок 3.54).

В этот период обнаружено аномальное уменьшение содержания водяного пара и аномальное увеличение параметра Ангстрема (рисунок 3.55).

Рисунок 3.53 - Ход изменений АОТ атмосферы перед землетрясением в Фукусиме 11 марта 2011года

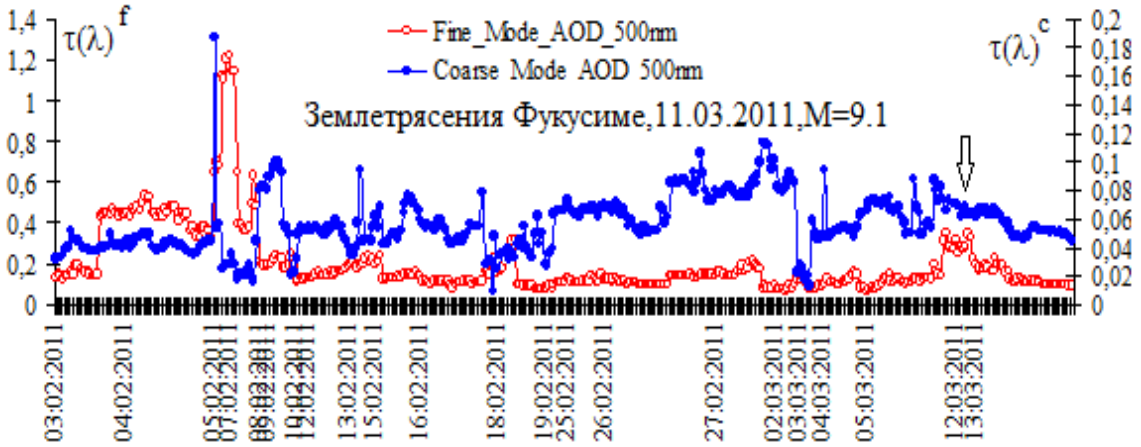

Рисунок 3.54 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля перед землетрясением в Фукусиме 11 марта 2011года

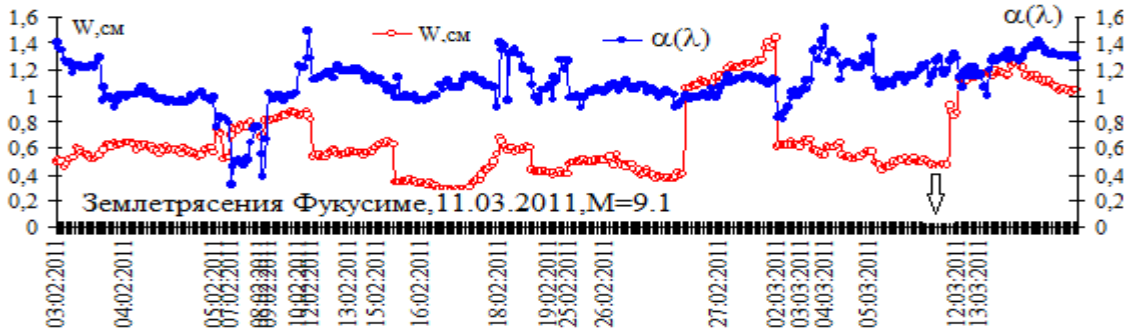

Рисунок 3.55 - Ход параметра Ангстрема и общего содержания водяного пара, перед землетрясением в Фукусиме 11 марта 2011года

Филиппинское землетрясение 22.04.2019, M=6.3. 22 апреля на Филиппинах недалеко от столицы Манилы произошло землетрясение магнитудой 6,3. Для изучения атмосферных параметров использованы данные ст. AERONET, станция в Обсерватории Манила (14,635с.ш., 121.07в.д. 63 м.н.у.м.). Ниже все землетрясения на Филиппинах анализированы с использованием данных данной станции. Анализ данных станции AERONET Обсерватории Манила свидетельствует об аномальном падении прозрачности атмосферы с минимумом 19 апреля, за четыре дня до землетрясения (рисунок 3.57).

Рисунок 3.56 - Ход прозрачности атмосферы перед филиппинским землетрясением 22 марта 2019 года

Аномальное высокое значение АОТ 19.04.2019 года (рисунок 3.57) связано исключительно с аномальным увеличением субмикронных частиц (рисунок 3.58), что чем свидетельствует рост параметра Ангстрема и уменьшение содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы (рисунок 3.60). Аномальное падение параметра Ангстрема происходит, начиная от 14 апреля (рисунок 3.59).

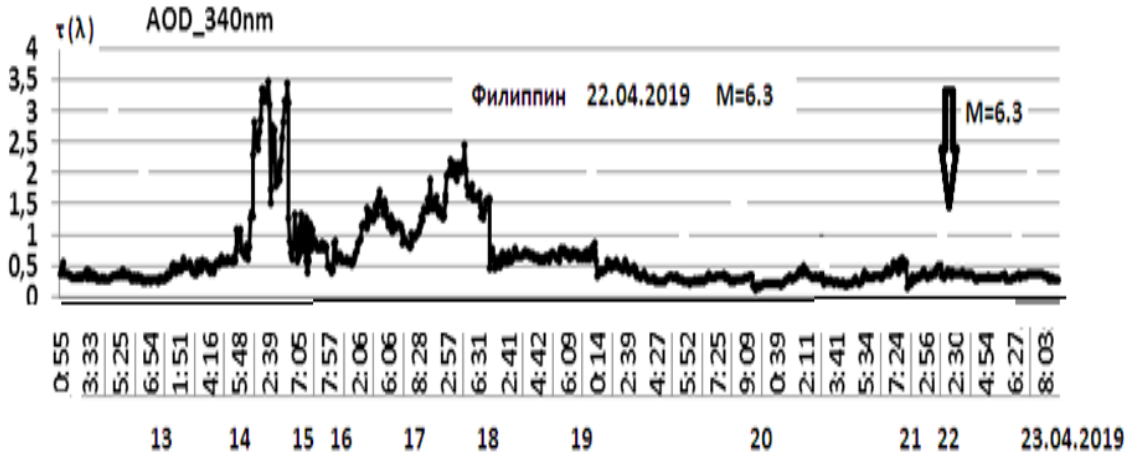

Рисунок 3.58 - Ход АОТ атмосферы перед филиппинским землетрясением 22 марта 2019года

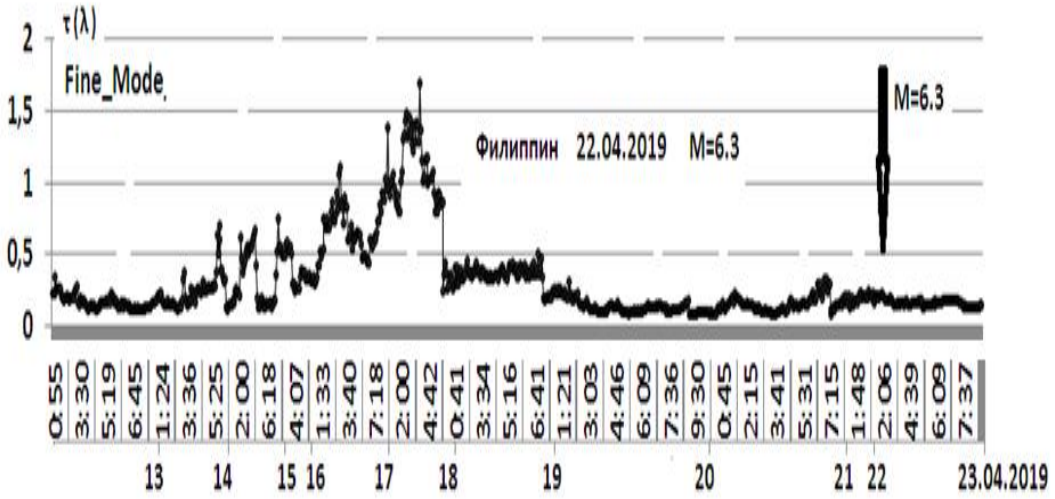

Рисунок 3.59 - Ход АОТ крупнодисперсной моды аэрозоля перед филиппинским землетрясением 22 марта 2019года

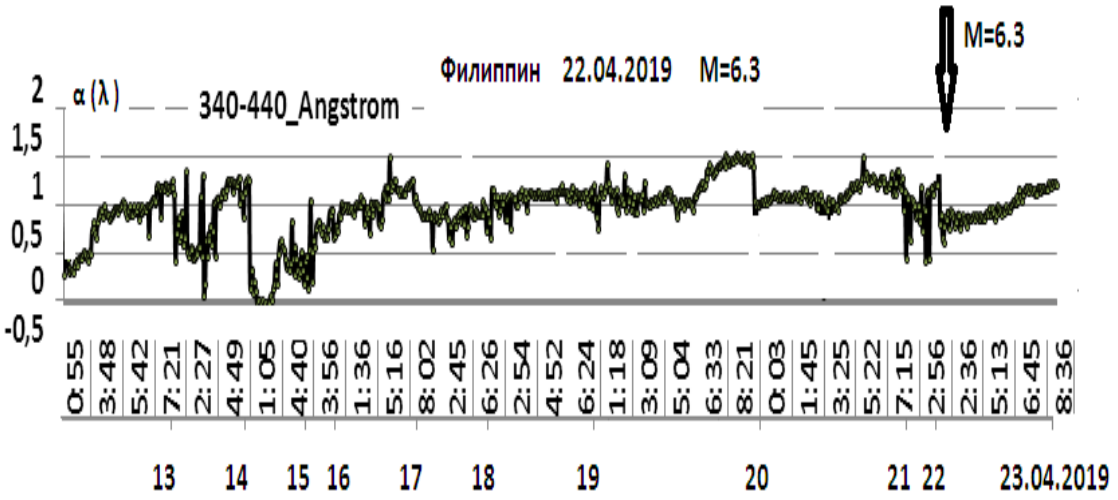

Рисунок 3.60 - Ход параметра Ангстрема перед филиппинским землетрясением 22 марта 2019года

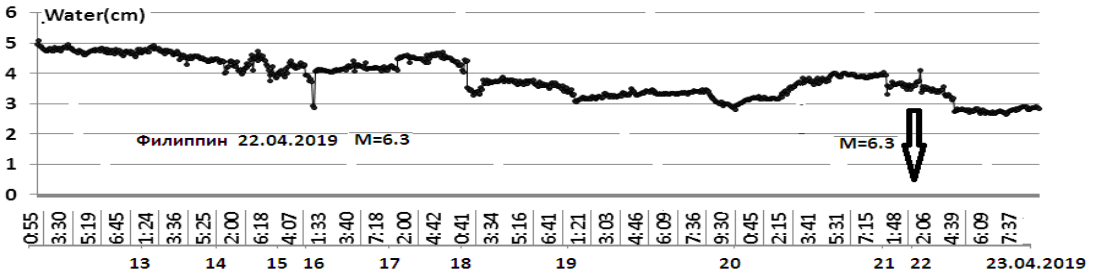

Рисунок 3.61 - Ход общего содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы перед филиппинским землетрясением 22 марта 2019года

Филиппинское землетрясение 27 июля 2019г., M=5.9. 27 июля у берегов Филиппин в трех километрах от острова Итбайят произошло землетрясение магнитудой 5.4, глубина очага которого составляла 9,1 километра. Через три часа в 14 километрах к востоку от острова вновь произошло землетрясение магнитудой 5.9, очаг залегал на глубине 10 километров.

Анализ данных станции AERONET Обсерватории Манила свидетельствует об аномальном падении прозрачности с минимумом 22 июля 2019, то есть за 5 суток до землетрясения (рисунок 3.61). Аномальный рост АОТ представлен на рисунке 3.62. Аномальное изменение крупнодисперсных частиц в атмосфере происходит, начиная с 22 июля 2019 (рисунок 3.63), и аномальное падение параметра Ангстрема (рисунок 3.64). Начиная с 22 июля обнаружен аномальный рост содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы (рисунок 3.6.17).

Рисунок 3.61 - Ход прозрачности атмосферы перед филиппинским землетрясением 27 июля 2019года

Рисунок 3.62 - Ход АОТ атмосферы перед филиппинским землетрясением 27 июля 2019года

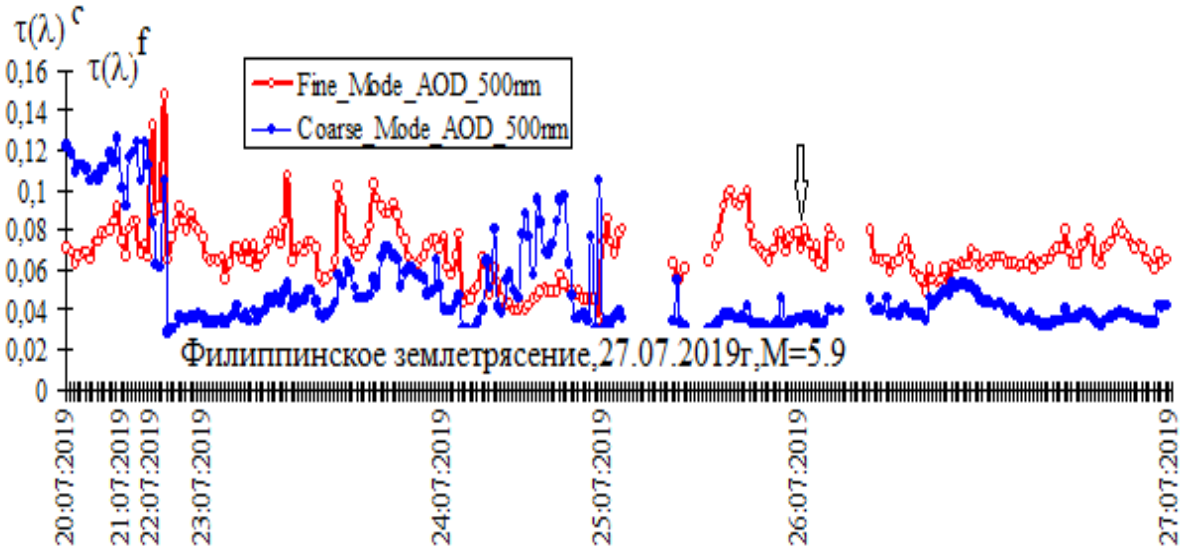

Рисунок 3.63 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля перед филиппинским землетрясением 27 июля 2019года

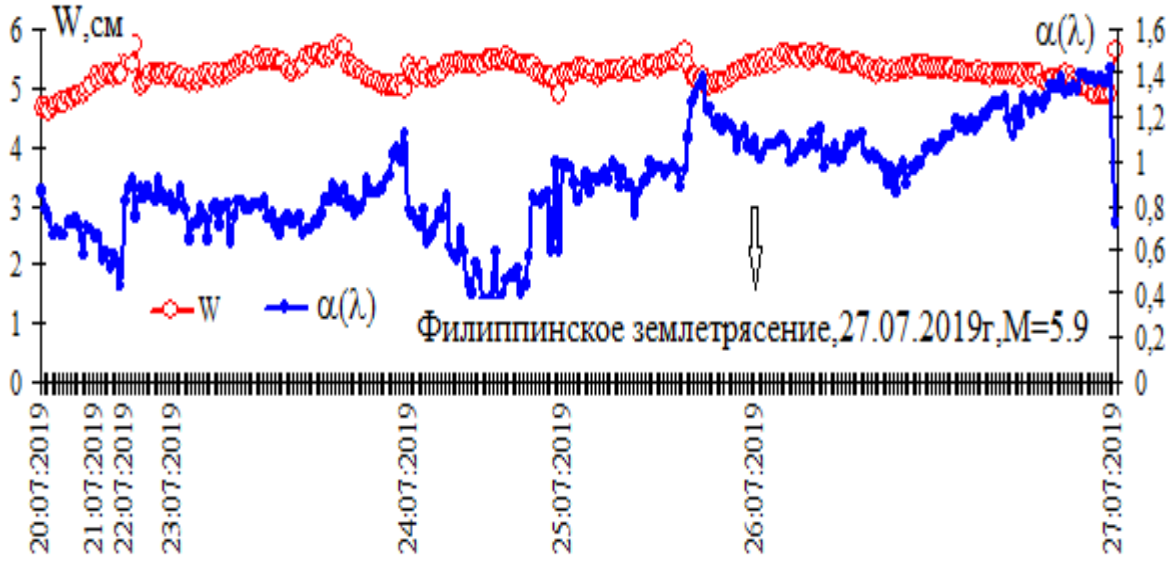

Рисунок 3.64- Ход параметра Ангстрема и общего содержания водяного пара перед филиппинским землетрясением 27 июля 2019года

Филиппинское землетрясение 29.10.2019., M=6.6 /6.8. Филиппины – 29 октября в 43 километрах к юго-западу от города Давао (остров Минданао) зафиксировано землетрясение магнитудой 6,8 балла. 29 октября 2019 филиппинский остров Минданао сотрясла серия из пяти мощных землетрясений магнитудой от 6.4 до 6.8. Далее вслед последовала серия афтершоков, всего было зафиксировано более 90 повторных толчков. Эпицентр землетрясений находился в 26 км к северо-востоку от г. Тулунан (провинция Котабато), расположенного в 972 км к югу от Манилы. Гипоцентры находились на глубине от 10 км до 50 км.

Анализ данных станции AERONET обсерватории Манилы свидетельствуют об аномально падении прозрачности атмосферы 11 октября то ест за 8 суток до сейсмического события (рисунок 3.65). Аномальный рост АОТ (рисунок 3.66) исключительно связано с доминирующей роли субмикронных частиц в атмосфере (рисунок 3.67).

Рисунок 3.65- Ход прозрачности атмосферы перед филиппинским землетрясением 29 октября 2019года

Хотя и установлены весомый вклад как субмикронной, так и крупнодисперсной фракции, на что указывает рисунок 3.67 и изменения параметра Ангстрема и рост содержания водяного пара (рисунок 3.68).

Рисунок 3.66 - Ход АОТ атмосферы перед филиппинским землетрясением 29 октября 2019года

Рисунок 3.67 - Ход АОТ субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля перед филиппинским землетрясением 29 октября 2019года

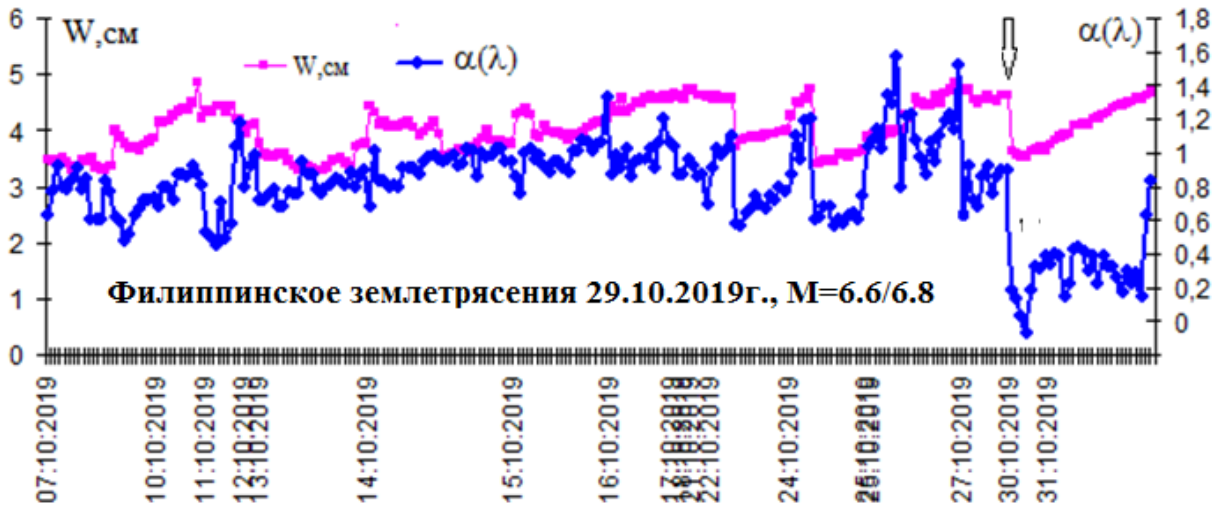

Рисунок 3.68 - Ход параметра Ангстрема и содержания водяного пара перед филиппинским землетрясением 29-31 октября 2019года

Таким образом, резюмируя вышеизложенное можно отметить, что механизм аномального изменения параметров атмосферы связан с тем, что в очаге предстоящего землетрясения заблаговременно до сейсмического события происходит выход различных газов (радон, водород, метан и т.д.) в атмосферу вступая в химическую реакцию, эти газы аномально изменяют параметры атмосферы, прежде всего происходит аномальное изменение содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы. Выход радона приводит к ионизации молекул воздуха и аэрозолей, выход электронов из очага землетрясения изменяет содержание электронов в F-слое ионосферы. Изменение дипольного момента водяного пара приводит к изменению оптической толщины атмосферы и аэрозоля.

Считается, что явление возникновения поляризационных аномалий электромагнитного поля, может быть одним из признаков-предвестников предстоящего землетрясения. Электрическое поле в атмосфере возникает, вероятно, за счёт радиоактивного распада радона и он приводит к ионизации молекул воздуха и аэрозолей. Известно, что молекула воды (H_2O) имеет постоянный некомпенсированный дипольный момент. Изменения оптических постоянных среды (n, k) и коэффициента отражения падающего света в зоне

электростатической напряжённости, «купола» предстоящего землетрясения приводят к изменению оптической толщины атмосферы и аэрозолей.

Анализ данных в станциях AERONET свидетельствует, что при постоянном мониторинге параметров атмосфере можно заблаговременно зарегистрировать аномальное поведение параметров атмосферы. Аномальное изменение вышеизложенных параметров атмосферы могут быть использованы в дальнейшем как атмосферными предвестниками краткосрочного землетрясения, что дополняет список известных предвестников землетрясений, обнаруженные авторами [1-30].

Основные результаты и выводы

1. Проведен анализ сейсмических событий для 42 землетрясений с энергетическим классом К>10 и магнитудой М>5 за период с 2010 по 2020 гг. ([1-А], [2-А], [3-А], [7-А]).

2. Обнаружено синхронное аномальное изменение оптических и микрофизических параметров атмосферы и газового состава атмосферы ([4-А], [8-А], [13-А], [9-А]).

3. Установлено, что в качестве предвестников могут выступать аномальные изменения субмикронной и крупнодисперсной мод АОТ аэрозоля([1-А], [2-А], [3-А], [7-А]).

4. Установлено, что при аномально высоком значении АОТ содержание водяного пара аномально возрастает, а параметр Ангстрема аномально уменьшается. Аномальное повышение АОТ, вызванное крупнодисперсной фракцией аэрозоля сопутствует аномальному уменьшению параметра Ангстрема. Увеличение размера частиц за счет конденсации на них водяного пара приводит к аномальному повышению АОТ субмикронной фракции аэрозоля что приводит к аномально высоким значениям параметра Ангстрема ([1-А], [5-А], [14-А], [16-А]. [18-А]).

5. Показано, что аномальная вариация дисперсного состава атмосферного аэрозоля обусловлена процессами конденсации и испарения водяного пара в атмосфере, стимулированных сейсмическими явлениями и проявляется до землетрясения ([8-А], [12-А], [14-А], [18-А], [21-А]).

6. Установлены физические причины, определяющие нарушение обычного хода функции температуры и давления атмосферы, которое может используется как предвестник крупных землетрясений ([1-А], [5-А], [6-А], [13-А], [16-А], [18-А], [22-А]).

7. Показано, что аномально высокое значение АОТ сопровождается увеличением размеров субмикронных аэрозольных частиц за счет роста конденсации водяного пара. Максимум субмикронной фракции перемещается по данным AERONET в сторону больших размеров частиц, а максимум

крупнодисперсной фракции в сторону меньших размеров аэрозольных частиц ([1-A], [5-A], [6-A], [10-A], [15-A], [18-A], [22-A]).

Рекомендации по практическому использования результатов

Полученные в работе экспериментальные результаты найдут применение при краткосрочном прогнозе землетрясения. Обнаруженные новые предвестники в настоящей диссертации являются существенным дополнением к известным в настоящее время методам.

Мониторинг метеорологических параметров атмосферы (температура воздуха и атмосферное давление), оптические и микрофизические характеристики атмосферы (аэрозольной оптической толщи атмосферы, прозрачности атмосферы, общего содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы, параметра Ангстрема, аэрозольной оптической толщи субмикронной и крупнодисперсной моды аэрозоля и общего содержания озона, диоксида азота и NO2 в вертикальном столбе атмосферы) и ионосферного предвестника землетрясения (высокий спорадический слой Es, отвечающий критериям идентификации) в комплексе позволят улучшению прогноза землетрясений.

Возможно, полученные результаты в этом направлении могут быть основой для разработки технологии мониторинга сейсмической опасности по данным сетевых наблюдений за метеорологическим, оптическим, микрофизическим характеристикам атмосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Список использованных источников

[1]. Садовский, М. А. Основы прогноза землетрясений /М.А. Садовский и др. // В сб.: - Прогноз землетрясений. №3. - Душанбе-М:.- Дониш.- 1983-1984.-243с.

[2]. Садовский, М.А. Геофизические и геохимические предвестники. / М.А. Садовский, Ю. Н. Авюх, О. М. Барсуков и др. //Изв-во ИФЗ АН СССР. Научная программа исследований по прогнозу землетрясений. - 1981. -265с.

[3]. Садовский, М.А. Вопросы прогноза землетрясений /М.А. Садовский, И.Л. Нерсесов // Изв-во АН СССР. Физика Земли. -1978. - №9. с.17–34.

[4]. Садовский, М.А. Явление сбоя равновесного состояния функций температуры и давления в атмосфере и замкнутых объемах перед землетрясениями /М.А.Садовский, Ю.А. Баннов, К. М. Мирзоев, С.Х. Негматуллаев //В сб.: Прогноз землетрясений. -Душанбе:. - Дониш. -1985. - №1-6. - с.-242-266.

[5]. Соболев, Г.А. Основы прогноза землетрясений /Соболев Г.А. //М., Наука, 1993. - 313 с.

[6]. Карташов, А.П. Изучение тектонофизических характеристик современных движений земной поверхности по геодезическим данным. автореф. дис. канд. тех. наук: / А.П. Карташов– Москва, - 1983.-40с.

[7]. Баннов, Ю.А. Способ прогнозирования землетрясений / Ю.А. Баннов, Л. М. Мирзоев, С.Х. Негматуллаев //Авторское свидетельство №1247808 от 01.04.1986г. - с. 242-266.

[8]. Негматуллаев, С.Х. Метеорологические и ионосферные эффекты в период Гиссарского землетрясения /С.Х. Негматуллаев, К.М. Мирзоев, О.А. Алимов, Л.Н. Рубцов // Изв-во ДАН РТ.- 1996.- Т.39. - №3-4. с.71-75.

[9]. Тертышников, А.В. Аномальные пятисуточные вариации оптической толщины атмосферы над сейсмоопасными регионами перед сильными коровыми землетрясениями /А.В. Тертышников, А. А. Важенин // Гелиогеофизические исследования. - 2012г. - №. 2. - с.33-39.

[10]. Тертышников, А.В. Сейсмоозонные эффекты и проблема прогнозирования землетрясения / А.В. Тертышников // СПБ.- 1999. -196 с.

[11]. Тертышников, А.В. Основы мониторинга чрезвычайных ситуаций/ А.В. Тертышников //Учебное пособие. М:.- 2011.- 261 с.

[12]. Тертышников, А.В. Организация прогнозирования природных чрезвычайных ситуаций. /А.В.Тертышников //Учебное пособие. – М:. - 2011. - 268 с.

[13]. Тетерин, А.В. Обоснование параметров сдвижения земной поверхности при ее многократной подработке в условиях подземной разработки угольных пластов: автореф. дисс. канд. тех. наук: /А.В. Тетерин. - Шахты, - 2004.-21с.

[14]. Садовский, М. А. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс /М. А. Садовский, Л. Г. Болховитинов, В.Ф. Писаренко // М.: - Наука. - 1987. -100 с.

[15]. Авербух, А. Г. Распознавание рефрагированных волн /А. Г. Авербух // М. - Недра. - Прикладная геофизика. -1965. - вып. 45.-с. 28-40.

[16]. Санаев, В.Г. Явление возникновения поляризационных аномалий электромагнитного поля над очагом землетрясения /В.Г. Санаев, В.Ф. Давыдов, О.Л. Кузнецов, А.Н. Никитин //Научное открытие. - 2007. - № 336. -с.46.

[17]. Преломление света. /Физический энциклопедический словарь под ред. А.М.Прохорова //Изд. Сов. Энциклопедия. - М:.- 1983.- 168 с.

[18]. Каримов, Ф.Х. .Вопросы теории магнетизма горных пород и тектономагнетизма: автореф. дис. д-ра физ. –мат.наук: /Ф.Х.Каримов //МГУ им. М.В.Ломоносова. Физический факультет. – М. -1993. - 29 с.

[19]. Мавлянов, Г.А. Аномальные вариации геомагнитного поля в Восточной Фергане – предвестник Алайского землетрясения 2 ноября 1978г / Г.А. Мавлянов, В.И.Уломов, К.Н. Абдуллабеков, В.А. Шапиро и др.// ДАН СССР. - 1979. - Т.246. - №1, 2. - с.294-297.

[20]. Кашлева, Л.В. Взаимосвязь электрических и других метеорологичских параметров грозовых облаков: дисс. канд. физ-мат. наук: 01.04.12/Л.В. Кашлева //Ленинград, - 1986.-157с.

[21]. Кашлева, Л.В. Атмосферное электричество / Л.В. Кашлева // Изд.СПбГУ.- - 2008. - 116с.

[22]. Дмитриев, Э.М. Отклик атмосферного электрического поля на изменение проводимости в приземном слое атмосферы /Э.М. Дмитриев, С.В. Анисимов // Геомагнетизм и аэрономия. -1994. -№3. - с. 97-103.

[23]. Крайнов, С.Р. Основы геохимии подземных вод /С.Р. Крайнов, В.М. Щвец // Изд.1 М: - Недра. - 1980. -286с.

[24]. Мавлянов, Г.А. Подземные воды исвойства горных пород Приташкентского района /Г.А. Мавлянов, С.Ш. Мирзаев, А.И. Исламов //Тошкент, -1963. - 178с.

[25]. Шейдеггер, А. Е. Физические аспекты природных катастроф /А. Е. Шейдеггер // М: - Недра.- 1981. – 232 с.

[26]. Варламов, С.П. Межгодовая изменчивость параметров температурного режима грунтов на Чабыдинском стационаре (Центральная Якутия) / С.П. Варламов, Ю.Б. Скачков, П.Н. Скрябин //Вопросы развития и освоения мерзлых толщ. - Якутск:- ИМЗ СО АН СССР.- 1996. - с.68-75.

[27]. Гольдберг, В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. / В.М. Гольдберг, С.М. Газда //М. - Недра. - 1984. - 262 с.

[28]. Мак-Фарланд, Д. Поведение животных. Психобиология, этология и эволюция / Д. Мак - Фарланд // М.:- Мир.- 1988.- 520 с.

[29]. Липеровский, В.А. Исследование F-области ионосферы перед землетрясениями /В.А. Липеровский, О.А.Алимов, С.Л. Шалимов,М.Б. Гохберг, Р.Х.Липеровская, А.Саидшоев // Изв. АН СССР. Физика Земли. -1990. -№12. - с.77-86.

[30]. Liperovskaya, E.V., Effects in sporadic E-layer prior to the earthquakes/ E.V.Liperovskaya, A.Saidshoev, A.A.Alimov, S. Pavlova, M.M. Khakimova // -Izv. RAN, - Fiz. Zhemli. -1992. - том 12.- с.12-16.

[31]. Liperovskii, V.A. Ionospheric effects of Kayrakkum earthquake / V.A. Liperovskii, Alimov O.A. E.V. Liperovskaya, S.S. Pavlova, O.A.Pavlova, O.A. Pokhotelov , L.N. Roubtsov //Izv. RAN, Fiz. Zhemli. - 1992. - Vol. 7. - P. 105-113.

[32]. Liperovsky, V.A. On Es-spread effects in the ionosphere before earthquakes / V.A. Liperovsky, C.V. Meister, E.V. Liperovskaya, O.A. Alimov //Natural Hazard sand Earth System Sciences. -2005. -V. 5.- P. 1-4.

[33]. Соболев, Г.А. Проблема прогноза землетрясений / Г.А. Соболев // Природа. -1989. -№12. -с.47-55.

[34]. Соболев, Г.А. Поиск долгосрочных предвестников землетрясений на Кавказе / Г.А. Соболев //Прогноз землетрясений. Душанбе-Тбилиси. -1989.- № 12. - с.315-331.

[35]. Whitcomb, J. H. Earthquake prediction: Variation of seismic velocities before San Fernando earthquake /J. H. Whitcomb, J. D. Garmany, D. L. Anderson // Science. -1976. - V. 180. P. 632–635.

[36]. Sato, H. Precursory Land Tilt prior to the Tonankai Earthquake of 1944/ H. Sato // Some Precursors prior to Recent Great Earthquakes along the Nankai Trough. -1977. -V. 25. - P. 115–121.

[37]. Mogi, K. Temporal variation of crustal deformation during the days preceding a thrust-type great earthquake. - The 1944 Tonankai earthquake of magnitude 8.1 / K. Mogi // Pure and Applied Geophysics. -1984. - V. 122.- P.765–780.

[38]. Гир, Дж. Зыбкая твердь / Дж. Гир, Х.М. Шах //Мир. -1988. -220 с.

[39]. Красноперов, Р. И. Анализ сейсмотектонических движений земной коры по данным наблюдений глобальных навигационных спутниковых систем: автореф. дисс. канд.ф.-м. наук: /Р. И. Красноперов. – Москва,- 2012. -26с.

[40]. Нармирзаев, Ф.Д. Пространственные характеристики современных движений земной коры: автореф. дисс. к. ф.-м. наук: 25.00.10 /Ф. Нармирзаев. - Москва, -1985.-26с.

[41]. Прытков, А. С. Современные движения земной коры сахалино-курильского региона и моделирование геодинамических процессов по данным GPS наблюдений: автореф. дисс. к. ф. м. наук: /А. С. Прытков // Москва, -2008. -26с.

[42]. Меннинг, О. Поведение животных /О. Меннинг //М.: - Мир. - 1982 - 360 с.

[43]. Earthquake cases in China (1966-1975, 1976-1980, 1981-1985) / Beijing: Seismol. press. - 1988.- 1990. - 582с.

[44]. Рикитаке, Т. Предсказание землетрясений /Т. Рикитаке //М.: -Мир. - 1979.-388 с.

[45]. Мячкин, В.И. Процессы подготовки землетрясений /В.И. Мячкин //М.:- Наука- 1978. - 232 с.

[46]. Мячкин, В.И. Сводный график предвестников землетрясений / В.И. Мячкин, С.И. Зубков // Изв. АН СССР. Физика Земли. -1973.- №6. -с.28-32.

[47]. Chen, Young. Multidisciplinary approach used in expert systems for earthquake prediction in China / Chen Young, Wang Wei, Ji Ying//20 General assembly IUGG: Program and abstr. Yienna: IASPEI. -1991. - P. -296.

[48]. Гуфельд, И. Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты / И.Л. Гуфельд // Науч. изд. Королев: ЦНИИМаш. -2007. -160с.

[49]. Барсуков, В. Л. Значение гидрогеохимических методов для краткосрочного прогноза землетрясений / В. Л. Барсуков, А. В. Варшал и др. // М.: - Наука Гидрогеохимические предвестники землетрясений.- 1985. - с. 3-16.

[50]. Зубков, С.И. Предвестники землетрясений / С.И. Зубков // М.: - ОИФЗ РАН. - 2002. - 140 с.

[51]. Соломатина, Э.К. Предвидеть земную бурю / Э.К. Соломатина // Наука в СССР. -1990. -№3. -с. 5-13.

[52]. Tsunogai, U. Precursory chemical changes in ground water: Kobe earthquake, Japan / U. Tsunogai, H. Wakita // Science. - 1995.-V.269(5220). -P. 61–63.

[53]. Wakita, H. Earthquake chemistry II, collected papers, ed./ H. Wakita // Laboratory for Earthquake Chemistry, Faculty of Science, University of Tokyo.- Tokyo.-1996. - V.II. - 848с.

[54]. Давиденко, Д. В. Диагностика ионосферных возмущений над сейсмоопасными регионами: / Автореферат дис. канд. физ.-мат. наук. / Д. В. Давиденко- Москва. - 2013. - 26с.

[55]. Talwani et al. Prediction of an earthquake at Blue Mountain lake. - Earthquake Journal. - 1971.-V3.- pp.340-345.

[56]. Fraser-Smith, A.C. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake. /A.C.Fraser-Smith, A. Bernardi, P.R. McGill, M.E. Ladd, R.A. Helliwell, Jr. Villard //Geophysical Research Letters.- 1990.- V.17 (9). - pp.1465–1468.

[57]. De Swaaf, Kirt. Da rumort es ständig im Untergrund", Interview with Pier Francesco Biagi (нем.) //Der Standard (англ.)русск. : Magazin. - 2011. -V.22.-pp.28-34.

[58]. Мячкин, В.И. Основы физики очага и предвестники землетрясений / В.И. Мячкин, Б.В. Костров, Г.А. Соболев, О.Г. Шамина //В сб.: -Физика очага землетрясения.- М.: -Наука. - 1975.- с.6-29.

[59]. Лукк, А.А. Временные вариации механизмов очагов землетрясений Гармского региона /А.А. Лукк, И.Л. Нерсесов, С.Л. Юнга //Изв. АН СССР.- Физика Земли.- 1980. - №2. - с.10-21.

[60]. Воробьева, И. А. Прогноз повторного сильного землетрясения: автореф. дис. канд. физ.-мат. наук / И. А. Воробьева. – Москва. - 2005. -26с.

[61]. Владимиров, Р. Г. Гидрохимическое предвестники землетрясения: автореф. диссер. на соиск. уч. степ. к.ф.-м.н.:/ Рябинин Геннадий Владимиров - М.: - 2007. - 26с.

[62]. Захаренко, И. Е. Использование измерений сигналов системы GPS для обнаружения ионосферных предвестников землетрясений: автореферат дис. канд. физ.-мат. наук / И. Е. Захаренко – Калининград. - 2007. -26с.

[63]. Намгаладзе, А.А. Физический механизм и математическое моделирование ионосферных предвестников землетрясений, регистрируемых в полном электронном содержании / А.А. Намгаладзе, М.В. Клименко, В.В. Клименко, И.Е. Захаренкова // Геомагнетизм и аэрономия. -2009. -Т. 49. -№ 2. -с. 267-277.

[64]. Золотов, О. В. Эффекты землетрясений и вариациях полного электронного содержания ионосферы: автореф. дис. канд. физ.-мат. наук / О. В. Золотов – Мурманск. - 2015. - 26с.

[65]. Барсуков, В. Л. Геохимические методы прогноза землетрясений / В.Л. Барсуков, В.С. Серебренников, Г.М. Варшал, А.В. Гаранин // Геохимия. - 1979.- №3.- с.323-337.

[66]. Давиденко, Д. В. Диагностика ионосферных возмущений над сейсмоопасными регионами: автореф. диссер. на соиск. уч. степ. к.ф.-м.н.: 25.00.29 / Давиденко Дмитрий Валерьевич - Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова (ФГБУ «ИПГ»), М: -2013. - 26с.

[67]. Морозова, Л. И. Динамика облачных аномалий над разломами в периоды природной и наведенной сейсмичности / Л.И. Морозова //Физика Земли. - 1997. - №9. - с.94-96.

[68]. Бибикова, Т.Н. Уточнение мест тектонических разломов по натурным измерениям облачности / Т.Н. Бибикова, Т.А.Проскурякова, Е.В.Журба, В.А. Алексеев // 3-я Всероссийская научная конференция "Физические проблемы экологии. - Тезисы докладов. – Москва. - МГУ. - 2001. - с.120.

[69]. Назаров, Б.И. Обнаружение явления аномального поведения метеорологических, оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед сейсмическими событиями / Б.И.Назаров, С.Ф. Абдуллаев Ш.О.Лугмонова// ДАН РТ. – 2019. - Т.62. - №5-6. - с.446-453.

[70]. Лугмонова, Ш.О., Атмосферные предвестники землетрясения (на примере землетрясения на Филиппинах) // С.Ф.Абдуллоев, Б.И.Назаров, Ш.О.Лугмонова // Ученые записки ХГУ им.акад Б.Гафурова. Естественные и эконом. науки. – Худжанд. – 2020. - №3(54).- с.129–134.

[71]. Абдуллаев, С.Ф., Атмосферные предвестники землетрясения (на примере землетрясения в Гаити и Фукусима) / С.Ф.Абдуллаев, Б.И.Назаров, Ш.О.Лугмонова // Ученые записки ХГУ им.акад Б.Гафурова. Естественные и эконом. науки. – Худжанд. – 2020. - №3(54). - с.135–141.

[72]. Туманова, К.С. К вопросу поисков предвестников землетрясений /К.С. Туманова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1.

[73]. Моги, К. Предсказание землетрясений / К.Моги // М.: Мир, - 1988. – 382 с.

[74]. Любушин, А.А. Анализ канонических когерентностей в задачах геофизического мониторинга/ А.А. Любушин // Физика Земли. - 1998. - № 1. -с. 59-66.

[75]. Садовский, М.А. Проблема прогноза землетрясений ярко характеризует состояние и развитие геофизики твердой Земли / М.А. Садовский //Вестник АН СССР. -1981. - № 3- с. 70-73.

[76]. Roeloffs, E. Water level and strain changes preceding and following the August 4, 1985 Kettleman Hills, California, earthquake/ E. Roeloffs //Pure and Applied Geophysics. – 1984. - V.149. - p. 21–60.

[77]. Мазуров, Б. Т. Геодинамика и геодезические методы ее изучения / Б. Т. Мазуров, И. Е. Дорогова // Нов.: - СГГА. - 2014. – 175 с.

[78]. Резанов, И. А.Великие катастрофы в истории Земли / И.А. Резанов // М.: - Наука. - 1980. -Акад. наук СССР. - 176с.

[79]. Кортунов, В.А. Методические указания к изучению курса "Морские геофизические исследования" для студентов специальности 13020 / В.А.Кортунов, Р.Г.Кулинич, Е.И. Сычева. // «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» Владивосток. - 2007. -49с.

[80]. Интернет ресурс: Методы прогноза землетрясений. Источник.survincity.ru

[81]. Инюшин, В. М. Биофизические предвестники землетрясений, перспективы антисейсмической защиты / В. М. Инюшин //Вестник КазНУ. - -2011. –Т. 48. - № 3. –с.6-11.

[82]. Негматуллаев, С.Х. Проявление сильных землетрясений на территории Таджикистана в 2015 году /С. Х. Негматуллаев, Р. У. Джураев, Т.Р. Улубиева // -Изв АН РТ. – 2016. - № 4(165). - с. 84 – 94.

[83]. Негматуллаев, С.Х. Проявление сильных коровых и глубоких Памиро-Гиндукушских, а также возбужденных землетрясений в районе каскада ГЭС на реке Вахш / С.Х. Негматуллаев, Р.У.Джураев, Т.Р. Улубиева //Труды Международной научно-практической конференции «Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: Под ред. Заалишвили В.Б..- Владикавказ. ГФИ ВНЦ РАН. - 2017. - с.32-43

[84]. Лугмонова, Ш.О. Аномальное поведение оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед землетрясениями/ Ш.О. Лугмонова, Б.И.Назаров, С.Х.Негматуллаев, С.Ф. Абдуллаев //Вестник ТНУ. - 2019. - №1. - с. 144–150.

[85]. Фатьянов, М.П. Социально-экономические последствия глобальных катастрофических угроз в эпоху информационных технологий / М.П. Фатьянов // Материалы третьей региональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экономики, образования и науки». Кисловодск. -2010. - с.14.

[86]. Моргунов, В.А. Реальности прогноза землетрясений / В.А. Моргунов // Физика Земли.- 1999. -№1. -с. 79-91.

[87]. Федотов, С.А. Реализация долгосрочного сейсмического прогноза для Тихоокеанской фокальной зоны / С.А. Федотов // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: -Наука. - 1974. - с. 101–109.

[88]. Уткин, В.И. Радон и проблема тектонических землетрясений / В.И. Уткин // Соросовский образ. журн.- 2000. -Т. 6. - № 12. - с. 64–70.

[89]. Потапов, А.Д. Землетрясения. Причины, последствия и обеспечение безопасности: учеб. пособие / А.Д.Потапов, И.Л. Ревелис, С.Н. Чернышев; под ред. С.Н. Чернышева // М.: -ИНФРА-М. - 2017. - 343 с.

[90]. Резанов, А.И. Великие катастрофы истории Земли/ А.И. Резанов //М:. - 2005. - 39с.

[91]. Родкин, М. Прогноз землетрясений: крушение надежд / М. Родкин. // Наука и жизнь. - 2017. - № 2. - С. 50-55.

[92]. Венцель, В. Д. Основы промышленной экологии и природопользования / В. Д. Венцель, В. С. Сердюк, С. В. Янчий // Учебное пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ. - 2010. - 136 с.

[93]. Филиппов, Е.С. Влияние электромагнитных полей на биологические объекты/ Е.С. Филиппов, Е.А. Ткачук //Текст научной статьи по специальности «Науки о здоровье» - 2001. - с.14-18.

[94]. Павлов, А.П. Вулканы, землетрясения, моря и реки. /А.П. Павлов // М.: - 1948. - с. 53

[95]. Афанасьев, Ю.Г. Методические рекомендации к практическим работам по курсу «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей всех форм обучения / Ю.Г. Афанасьев, А.Г. Овчаренко, Л.И. Трутнева; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: //Изд-во Алт. гос. техн. ун-та,- 2010. - 29 с.

[96]. Соболев, Г.А. Международный симпозиум "ЮНЕСКО" по предсказанию землетрясений. 2-6 апреля 1979 г. Париж/ Г.А. Соболев // Изв.АН СССР. 1979. № 10. С.125-127.

[97]. Соболев, Г.А., Рудаков В.П. К вопросу об использовании эманационного метода для прогноза землетрясений / Г.А.Соболев, В.П. Рудаков //Геохимические предвестники землетрясений. М.: - Наука. - 1985. - с.163-169.

[98]. Зубков, С.И. Времена возникновения предвестников землетрясений / С. И. Зубков // Изв. АН СССР. Физика Земли. -1987.- № 5. -с. 87–91.

[99]. Niazi, M. Regression analysis of reported earthquake precursors / M. Niazi //Pure and Applied Geophysics. -1984-1985.-V. 122. - P. 966-981.

[100]. Tsubokawa, I. On relation between duration of crystal movement and magnitude of earthquake expected /I. Tsubokawa // Journal Geodinamic. Society of Japan. -1969. -V. 15. -№ 6. - P. 75-88.

[101]. Трапезников, Ю.А. Вопросы пространственно-временного распределения землетрясений и их предвестников. Проявление геодинамических процессов в геофизических полях / Ю.А. Трапезников // М.: Наука.- 1993.- с. 139-150.

[102]. Соболев, Г.А. Предвестники сейсмических явлений / Г.А. Соболев / Прогноз землетрясений. - 1984.- №4.- с. 120-137.

[103]. Добровольский, И. П. Об оценках размеров зон проявления предвестников землетрясений /И. П. Добровольский, С. И. Зубков, // Моделирование предвестников землетрясений. М.:- Наука.- 1980. -с. 7-44.

[104]. Системный проект по развитию системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений //Инф.-анал. бюл. ФССН. М.: - 1995. - № 1. -132 с

[105]. Никонов, А. А. Миграция сильных землетрясений вдоль крупнейших зон разломов Средней Азии /А. А. Никонов //Доклады АН СССР. -1975. -Т. 225. - № 2. -с. 306–309.

[106]. Борисенков, Е. П. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы /Е. П. Борисенков, В. М. Пасецкий. // Москва: Мысль. - 1988. -524с.

[107]. Зубков, А. М. Предельные распределения статистической оценки энтропии / А. М. Зубков // Теория вероятности и ее применение. - 1973. - Т. 18. - № 3. -с. 643–650.

[108]. Никонов, А.А. Миграция сильных землетрясений вдоль крупнейших зон разломов Средней Азии / А.А. Никонов //Доклады АН СССР. -1975. -Т. 225. - № 2. - с. 306–309.

[109]. Завьялов, А. Д. Параметр концентрации сейсмогенных разрывов как предвестник сильных землетрясений на Камчатке /А. Д. Завьялов // Вулканология и сейсмология. - 1986. - № 3. -с. 58-71.

[110]. Негматуллаев, С.Х. Сарезское землетрясение 7 декабря 2015 года / С.Х. Негматуллаев, Р. У. Джураев, Т. Р. Улубиева // Вестник НЯЦ РК.- Курчатов(Казахстан).- 2018 - № 2(74). - с. 171-177.

[111]. Негматуллаев, С. Х. Современная система сейсмического мониторинга Таджикистана / С. Х. Негматуллаев, А. Ю. Девонашоев, Т. Р.Улубиева //Душ.: - Дониш. -2018. - 20 с.

[112]. Атмосфера. Справочник. -Л.: - Гидрометиздат, - 1991г.- 509 с.

[113]. Scholz, C.H. Earthquake prediction: A physical basis /C.H. Scholz, L.R. Sykes, Y.P. Aggarwal // Science. -1973. -V.181.- P. 803–809.

[114]. Трапезников, Ю.А. Вопросы пространственно-временного распределения землетрясений и их предвестников / Ю.А. Трапезников // Проявление геодинамических процессов в геофизических полях. М.: - Наука.- 1993. - с. 139-150.

[115]. Pierce, E.T. Atmospheric electricity and earthquake production / E.T. Pierce // Geophysical Research Letters- 2019. -V.46. - № 19. - P. 185-188.

[116]. Thomas, D. Geochemical precursor to seismic activity / D. Thomas // Pure Appl. Geophys. - 1988. - V. 126. - №2-4. -P. 241.

[117]. Wakita, H. Short-term and intermediate-term geochemical precursors / H. Wakita, Y. Nakamura, Y. Sano // Pure Appl. Geophys. -1988. -V. 126. - №2-4. -P. 267-278.

[118]. Yoshino, T. LF seismogenic emissions and its application on the earthquake preduction / T. Yoshino, I. Tomizawa // The Technical Report of Institute of Electronic Information and Communications - 1988. Tech.Report EMCJ - p.88-64.

[119]. Садовский, М.А. Научная программа исследований по прогнозу землетрясений / Садовский М.А. [Ред.] //М.: - ИФЗ АН СССР. -1981. -265 с.

[120]. Абрамов, О.К. Геомагнитные наблюдения в Душанбе - Гармском сейсмоактивном районе / О. К. Абрамов, Л. С Безуглая, С. Х. Негматуллаев и др // В сб.: Прогноз землетрясений. Душанбе- Дониш. - 1982.- №1.- с.206-218.

[121]. Назаров, Б.И. Исследования структуры и свойств пылевых и аэрозоле образующих примесей в аридной зоне юго - восточных районов Центральной Азии и их влияния на региональный климат/ Б. И. Назаров, Л.С. Ивлев, С.Ф. Абдуллаев //Душанбе:. - Ирфон. - 2015. - 482 с.

[122]. Назаров, Б.И. Бюллетень лаборатории физики атмосферы Физико-технического института им. С. У. Умарова Академии наук Республики Таджикистан (2010-2015гг). /Б.И. Назаров, С.Ф.Абдуллаев, В.А. Маслов //Душанбе: -Дониш. - 2016.- 172 с.

[123]. Назаров, Б.И. Динамические процессы при пылевых вторжениях в Центральной Азии /Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев, В. А. Маслов // Душанбе:. - Ирфон. - 2016.- 362 с.

[124]. Назаров, Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А. Атмосферный аэрозоль Центральной Азии /Б.И. Назаров, С.Ф.Абдуллаев, В.А. Маслов //Душанбе: Дониш.- 2017.- 416 с.- ISBN 978-99975-55-36-6.

Список публикаций соискателя

[1-А]. Негматуллоев, С.Х. Изменение оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед афганским землетрясением 25 октября 2015 года / С.Х.Негматуллоев, Б.И.Назаров, **Ш.О.Лугмонова,** С.Ф Абдуллоев. // **Ученые записки ХГУ им.акад Б.Гафурова. Естественные и эконом. науки**. **– Худжанд. – 2016. - №3(38). - с.42–50.**

[2-А]. Негматуллаев, С.Х. Мониторинг атмосферных предвестников землетрясения в Таджикистане / С.Х.Негматуллаев, Б.И.Назаров, **Ш.О.Лугмонова,** А.М.Джураев, С.Ф. Абдуллаев // **Ученые записки ХГУ им. акад. Б.Гафурова. Естественные и эконом. Науки. – Худжанд. - №3(42). - 2017. - с.34–44.**

[3-А]. **Лугмонова, Ш.О.** Вариации метеорологических, оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед крупными сейсмическими событиями /**Ш.О.Лугмонова**, Б.И.Назаров, С. Х. Негматуллаев, С.Ф.Абдуллаев // **Ученые записки ХГУ им. акад Б.Гафурова. Естественные и эконом. науки. – Худжанд. - 2019г. - №2(49). - с.23-34.**

[4-А]. **Лугмонова, Ш.О.** Аномальное поведение оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед землетрясениями/ **Ш.О. Лугмонова**, Б.И.Назаров, С.Х.Негматуллаев, С.Ф. Абдуллаев //**Вестник ТНУ. - 2019. - №1. - с. 144–150.**

[5-А]. Назаров, Б.И. Обнаружение явления аномального поведения метеорологических, оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед сейсмическими событиями / Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев **Ш.О. Лугмонова// ДАН РТ. – 2019. - т.62. - №5-6. - с.446-453.**

[6-А]. **Лугмонова, Ш.О**. О возможности улучшения качества краткосрочного прогноза землетрясения по оптическим и микрофизическим параметрам атмосферы/ **Ш.О. Лугмонова,** С.Ф. Абдуллаев, Б.И.Назаров, С.Х.Негматуллаев, //–Библиогр.: - 19 назв.-Рус. –г.Душанбе, 2019 г. - **Депонирована в ГУНПИЦентре под №01(1910) от 3 января 2019 г.- 15 стр.**

[7-А]. **Лугмонова, Ш.О.,** Методы краткосрочного прогноза землетрясения (обзорная статья) / **Ш.О. Лугмонова,** С.Ф. Абдуллаев, Б.И.Назаров, С.Х.Негматуллаев, // –Библиогр.: - 172 назв.-Рус. – г.Душанбе, 2019 г. –**Депонирована в ГУНПИЦентре под №09 (1918) от 22 августа 2019 г. – 30 стр.**

[8-А]. Абдуллаев, С.Ф. Атмосферные предвестники землетрясения (на примере землетрясения на Филиппинах) // С.Ф.Абдуллоев, Б.И.Назаров, **Ш.О. Лугмонова** // **Ученые записки ХГУ им. акад Б.Гафурова. Естественные и эконом. науки**. – **Худжанд. – 2020. - №3(54). - с.129–134.**

[9-А]. Абдуллаев С.Ф., Атмосферные предвестники землетрясения (на примере землетрясения в Гаити и Фукусима) / С.Ф.Абдуллаев, Б.И. Назаров, **Ш.О. Лугмонова** // **Ученые записки ХГУ им. акад Б.Гафурова. Естественные и эконом. науки**. – **Худжанд. – 2020. - №3(54). - с.135–141.**

[10-А]. Negmatullaev, Sh.H. Abnormal behaviour of optical and microphysical characteristics of the atmosphere before earthquakes /S.H. Negmatullaev, B.I Nazarov, **Sh.O.Lugmonova,** S.F.Abdullaev //Book of the Abstracts of the International Symposium KSCMBS'16 "Khujand Symposium on Computational Materials and Biological Sciences". − September.- 24–29. 2016. - с.117–118

[11-А]. Негматуллаев, С.Х. Аномальное поведение оптических и микрофизических параметров атмосферы перед землетресениями / С.Х.Негматуллаев, Б.И.Назаров, **Ш.О.Лугмонова**, С.Ф. Абдуллаев // В материалах Х –Международной конференции «Естественные и антропогенные аэрозоли» СПГУАП. - РГО посвященной 80-летию профессора Л.С. ИВЛЕВА. - 21 – 25 мая 2016. - г. Санкт-Петербург. - с.48–49.

[12-А]. Негматуллаев, С.Х. Мониторинг влияния сейсмической активности на параметры атмосферы/ С.Х.Негматуллаев, **Ш.О.Лугмонова,** Б.И.Назаров, С.Ф.Абдуллаев //Материалы Международной конференции "Перспективы развития физической науки" посв. памяти (80_летию) Заслуженного деятеля науки и техники Республики Таджикистан, члена-корреспондента АН РТ, д.ф.-м.н., профессора Хакимова Ф.Х. - г.Душанбе. - 14 .04.2017 г. - с.14–16.

[13-А]. Негматуллоев, С.Х. Изменение оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед землетрясением /С.Х. Негматуллоев, Б.И.Назаров, **Ш. О. Лугмонова,** С.Ф. Абдуллаев //Маводи конфронси илмӣ-анъанавии устодон, олимони ҷавон ва магистрантону донишҷӯён бахшида ба 20-солагии рӯзи ваҳдати миллӣ, 85-солагии ДДХ ба номи академик Б Ғафуров, соли ҷавонон ва рӯзи илми тоҷик. -Хуҷанд–2017. - с.38–51.

[14-А]. Негматуллоев, С.Х. Поведение оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед землетрясениями. / С.Х.Негматуллоев, Б.И. Назаров, **Ш. О. Лугмонова,** С.Ф. Абдуллаев //Материалы международной конференции современные проблемы физики посвящённой 25-летию государственной независимости РТ.- Душанбе – 2017.- с. 104–108

[15-А]. Негматуллаев, С.Х. Взаимосвязь оптических и микрофизических параметров аэрозоля с сейсмической активности**.** /С.Х. Негматуллаев, Б.И.Назаров, **Ш.О.Лугмонова,** А.М.Джураев, С.Ф. Абдуллаев //Международная конференция «Актуальные проблемы современной физики» посвященной 80–летию профессора Нарзиева Бозора Нарзиевича. - 18 апреля 2018 года Душанбе. - 2018. -с.323–325.

[16-А]. **Лугмонова**, **Ш.О.** Аномальное поведение метеорологических, оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед крупным сейсмическим событием в Иране 15 ноября 2017 г., М=7.3, /**Ш.О. Лугмонова,** С.Х.Негматуллаев, С.Ф.Абдуллаев, Б.И. Назаров //Материалы VI Международной конференции «Современные проблемы физики», посвящённой 110-летию академика Академии наук Республики Таджикистан С.У. Умарова и 90–летию академика Академии наук Республики Таджикистан А.А. Адхамова. Душанбе. - «Эр-граф». - 2018. -320 с. - с.214–216

[17-А]. **Лугмонова**, **Ш.О.** Вариации метеорологических, оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед крупными сейсмическими событиями / **Ш.О.Лугмонова,** С.Ф. Абдуллаев, С.Х.Негматуллаев, Б.И. Назаров //Конференсияи илмӣ-методии донишгоҳии “Муаммоҳои физикаи муосир ва таълими фанҳои даќиќ” бахшида ба 75-солагии зодрӯз ва 50-солагии фаъолияти омӯзгории аълочии маорифи ҷумҳурии Тоҷикистон, номзади илмҳои физика-математика, профессор, академики академияи муҳандисии ҷумҳурии тоҷикистон Шерматов Масаид, Хуҷанд. - 20-уми майи соли 2019. –с.78-80.

[18-А]. **Лугмонова**, **Ш.О.,** Аномальное поведение метеорологических, оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед крупными сейсмическими событием на Турции 23.10.2011г. /**Ш.О.Лугмонова,** С.Ф.Абдуллаев, Б.И. Назаров //Международная научно-практическая конференция “Перспективы развития науки и образования”, г. Душанбе, 20–21 ноября 2019г. ТТУ им М.С.Осими. - с.35–40.

[19-А]. **Лугмонова, Ш.О.** Аномалии оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед крупными сейсмическими событием в Турции / Ш.О.Лугмонова, С.Ф. Абдуллаев, Б.И. Назаров //Международная научно-практическая конференция «Гидроклиматические факторы использования водных ресурсов Центральной Азии» 28–29 ноября 2019г. –с.211.

[20-А]. **Лугмонова, Ш.О.** Вариации метеорологических, оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед крупными сейсмическими событиями / Ш.О.Лугмонова, С.Ф. Абдуллаев, Б.И. Назаров //Республиканская научно-практическая конференция по теме Геологические и Маркшейдерское проблемы в разработке месторождений полезных ископаемых посвящается «20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук» 25 января 2020г. – Бустон.- с.68-71.

[21-А]. **Лугмонова, Ш.О.** Аномалии оптических и микрофизических характеристик атмосферы перед крупным сейсмическим событием в Филлипинах./ **Лугмонова Ш.О.,** Абдуллаев С.Ф, Назаров Б.И. // VII Международная конференция «Современные проблемы физики». - г.Душанбе. - 9-10 октября 2020г.

[22-А]. Маслов, В.А., Аэрозольные предвестники землетрясений / Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., **Лугмонова Ш.О.** // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук (Душанбе, 28 октября 2020 года) «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». - г.Душанбе. - РТСУ.с. 176-180.