



УДК 551.576 : 551.521.3

## АНОМАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ В ДУШАНБЕ ПЕРЕД АФГАНСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 26.10.2015

С. Ф. Абдуллаев<sup>1</sup>, В. А. Маслов<sup>1</sup>, Ш. О. Лугмонова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Физико-технический институт им. С. У. Умарова Национальной Академии наук Таджикистана,  
Республика Таджикистан, г. Душанбе

<sup>2</sup> Худжандский государственный университет, Республика Таджикистан, г. Худжанд

Проведён анализ данных 15-минутных измерений ряда оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля, полученных с помощью солнечного фотометра CIMEL CE-318 станции AERONET в г. Душанбе перед Афганским землетрясением 26.10.2015 г. с магнитудой  $M=7,2$ . Рассмотрены микрофизические процессы, происходящие в атмосфере над сейсмической зоной. Показано, что сейсмическая вариация атмосферных предвестников, в основном, связана с быстрой конденсацией водяного пара на частицах аэрозоля. Выявлены возможные предвестники сейсмической опасности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, ПРЕДВЕСТНИКИ, МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, АЭРОЗОЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОЛЩИНА, ПАРАМЕТР АНГСТРЕМА, ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ, ВОДЯНОЙ ПАР, КОНДЕНСАЦИЯ.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Достоверные предсказания времени и места землетрясений пока редки [1-3]. Со времен Аристотеля известно, что перед мощными землетрясениями часто можно наблюдать атмосферные оптические аномалии: свечение неба, молнии [4]. Использование приборных методов наблюдения подтвердило наличие аномального поведения прозрачности атмосферы перед землетрясением [5-7] и возможность техническими методами следить за сейсмическими явлениями. Так, в работе [5] отмечено увеличение среднедневной аэрозольной оптической толщи (АОТ) на частоте 333 мкм, измеренной фотометром станции AERONET. Однако, обнаруженной корреляции между сейсмическими явлениями и изменениями АОТ и размеров частиц оказалось недостаточно для каких-либо заключений о физическом механизме предвестников землетрясений.

В другой работе [6] исследована статистическими методами обнаруженная ранее закономерность [7] увеличения АОТ на ближайшей станции AERONET за пять суток на примере 30 крупных землетрясений (2003-2011 гг.). Наблюдавшееся увеличение размеров частиц в 1.5–3 раза, авторы связали с влиянием сейсмогенных электрических полей на ориентацию заряженных частиц и электрооптические свойства атмосферы, но ни обоснования этого, ни физического механизма роста АОТ не привели. То есть реально наблюдаемое явление-предвестник остается пока неизученным.

Среди известных технических решений по прогнозу землетрясений следует отметить метод прогнозирования землетрясения, основанный на наблюдении аномального хода параметров атмосферы [8]. Обнаруженное авторами явление сбоя обычного хода по времени температуры воздуха и атмосферного давления перед землетрясениями, а также функций от этих величин, дало эффективный метод прогноза, который был развит далее и запатентован [9, 10]. Оптические методы наблюдения атмосферных предвестников фиксируют изменения, происходящие в аэрозольной среде над сейсмической зоной, и связанные с воздействием на компоненты атмосферы газов и элементарных частиц, выбрасываемых из очага землетрясения. В частности, электрическая ионизации среды может приводить к ускорению коагуляции частиц и конденсации водяного пара. Из-за малого количества выбрасываемого вещества его воздействие на атмосферу иным способом зафиксировать вряд ли возможно.

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Мониторинг атмосферных параметров с целью оценки сейсмической опасности весьма актуален для Таджикистана, так как республика находится в активной сейсмической зоне. Только в 2015 году, по данным, полученным от Геофизической службы АН РТ, на территории Таджикистана зарегистрировано 26000 землетрясений. Возможность отслеживать состояние атмосферы появилась в 2010 году с началом действия станции AERONET в городе Душанбе. Учитывая, что быстрые изменения аэрозольных параметров происходят с испарением водяного пара, его конденсацией или осаждением сконденсировавшейся воды, все данные AERONET необходимо рассматривать на уровне level 1.0, чтобы не потерять важную информацию о происходящих процессах.

На рисунке 1 приведена диаграмма сейсмической активности в Таджикистане в октябре 2015 года. По данным 9 сейсмостанций Геофизической службы НАНТ в этот период произошло 28 землетрясений с магнитудой  $M \geq 3$ , которые ощущались в 80 пунктах Таджикистана. Наиболее мощное землетрясение с магнитудой  $M=7.2$ , зафиксированное всеми сейсмостанциями, произошло 26 октября 2015 года. Его эпицентр находился в Афганистане ( $36^{\circ}26'28''$  с. ш.,  $70^{\circ}43'01''$  в. д.) на глубине 212 км. В течение всего месяца помимо ежечасного измерения метеорологических параметров (Агентство по гидрометеорологии РТ [[https://rp5.ru/Погода\\_в\\_Душанбе](https://rp5.ru/Погода_в_Душанбе)]), на станции AERONET в Душанбе, т. е. неподалеку от очага землетрясения, измерялись оптические и микрофизические параметры атмосферы, газовый и дисперсный состав атмосферных частиц.

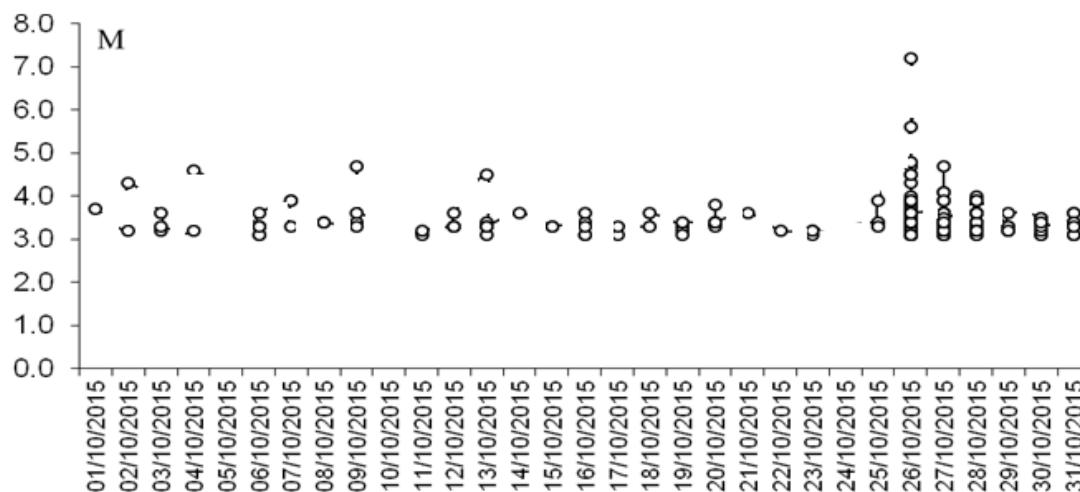


Рис. 1. Динамика сейсмической активности в октябре 2015 года в Таджикистане.

В таблице 1 приведены характеристики землетрясений с магнитудой выше 3.5 баллов, зафиксированных девятью сейсмостанциями Геофизической службы НАНТ в октябре 2015 года. В таблице обозначено: D — глубина очага, E — энергетический класс, M — магнитуда, S(L) — ближайшая зафиксировавшая толчки.

Для измерений использовался солнечный фотометр Cimel CE-318 станции AERONET (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov>), расположенной на полигоне атмосферного мониторинга ФТИ им. С. У.

Умарова АН РТ в г. Душанбе (38°33' 33,86" с. ш., 68°51' 23,79" в. д., высота 867 м над уровнем моря. Измерения производятся каждые 15 минут, что позволяет оперативно отслеживать изменения дисперсного и газового состояния атмосферы. Учитывая, что эпицентр землетрясения находится к югу от Душанбе, путь солнечного света к фотометру проходит и над территорией, близкой к центру сейсмической зоны, создавая наилучшие условия для наблюдений.

Таблица 1. Характеристики землетрясений в Таджикистане с магнитудой выше 3.5 в октябре 2015 года

| № п/п | Дата     | Время по Гринвичу |     |     | Координаты |         | D, км | E    | M   | S(L)         | N |
|-------|----------|-------------------|-----|-----|------------|---------|-------|------|-----|--------------|---|
|       |          | час               | мин | сек | φ° С.Ш.    | λ° В.Д. |       |      |     |              |   |
|       | 02.10.15 | 15                | 12  | 18  | 37,40      | 71,80   | 100   | 9,7  | 3,2 | Манем(25)    | 6 |
|       | 02.10.15 | 16                | 20  | 20  | 36,60      | 71,20   | 230   | 11,8 | 4,3 | Манем(120)   | 6 |
|       | 04.10.15 | 14                | 17  | 53  | 36,10      | 68,90   | 100   | 9,7  | 3,2 | Шаартуз(175) | 6 |
|       | 04.10.15 | 21                | 39  | 22  | 36,70      | 71,00   | 240   | 12,2 | 4,6 | Манем(105)   | 6 |
|       | 06.10.15 | 0                 | 31  | 8   | 36,50      | 71,10   | 170   | 10,0 | 3,3 | Манем(120)   | 6 |
|       | 09.10.15 | 1                 | 20  | 31  | 37,10      | 71,50   | 120   | 10,1 | 3,4 | Манем(45)    | 6 |
|       | 09.10.15 | 6                 | 9   | 36  | 36,55      | 70,15   | 210   | 12,5 | 4,7 | Манем(170)   | 6 |
|       | 09.10.15 | 10                | 6   | 42  | 36,50      | 70,80   | 200   | 10,0 | 3,3 | Манем(135)   | 6 |
|       | 09.10.15 | 11                | 39  | 2   | 36,30      | 71,30   | 100   | 10,4 | 3,6 | Манем(135)   | 6 |
|       | 13.10.15 | 15                | 40  | 10  | 36,60      | 70,30   | 210   | 12,1 | 4,5 | Манем(145)   | 6 |
|       | 13.10.15 | 16                | 12  | 53  | 36,40      | 71,20   | 120   | 9,6  | 3,1 | Манем(120)   | 6 |
|       | 13.10.15 | 23                | 48  | 32  | 36,50      | 70,00   | 230   | 10,1 | 3,4 | Манем(170)   | 6 |
|       | 13.10.15 | 23                | 49  | 57  | 36,60      | 70,40   | 210   | 10,0 | 3,3 | Манем(130)   | 6 |
|       | 13.10.15 | 23                | 59  | 33  | 36,60      | 70,45   | 230   | 10,0 | 3,3 | Манем(155)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 9   | 30  | 36,40      | 70,60   | 230   | 14,0 | 5,6 | Манем(155)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 9   | 40  | 36,50      | 70,30   | 230   | 17,0 | 7,2 | Манем(180)   | 2 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 23  | 2   | 36,40      | 70,00   | 250   | 11,0 | 3,9 | Манем(180)   | 4 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 26  | 25  | 36,50      | 70,20   | 240   | 12,4 | 4,7 | Манем(180)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 29  | 19  | 36,60      | 71,10   | 80    | 10,4 | 3,6 | Манем(100)   | 3 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 33  | 50  | 36,60      | 70,20   | 210   | 11,0 | 3,9 | Манем(160)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 36  | 12  | 36,50      | 70,50   | 200   | 11,8 | 4,3 | Манем(165)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 40  | 26  | 36,40      | 70,40   | 200   | 10,4 | 3,6 | Манем(160)   | 4 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 46  | 17  | 36,55      | 70,30   | 210   | 10,4 | 3,6 | Манем(170)   | 5 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 48  | 23  | 36,55      | 70,45   | 200   | 12,1 | 4,5 | Манем(160)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 49  | 38  | 36,60      | 70,30   | 210   | 12,7 | 4,8 | Манем(155)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 52  | 56  | 36,60      | 70,20   | 200   | 11,0 | 3,9 | Манем(160)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 55  | 4   | 36,60      | 70,15   | 190   | 10,7 | 3,7 | Манем(165)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 9                 | 58  | 33  | 36,50      | 70,40   | 210   | 10,4 | 3,6 | Манем(160)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 10                | 0   | 2   | 36,55      | 70,40   | 200   | 10,5 | 3,6 | Манем(155)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 10                | 1   | 49  | 36,60      | 70,20   | 200   | 11,0 | 3,9 | Манем(160)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 10                | 37  | 2   | 36,45      | 70,25   | 250   | 11,2 | 4,0 | Манем(170)   | 6 |
|       | 26.10.15 | 11                | 16  | 17  | 36,70      | 70,30   | 210   | 12,1 | 4,5 | Манем(155)   | 6 |

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Назовем быстрое изменение параметров атмосферы аномальным поведением, если оно проявляется без смены воздушных масс, без видимых выбросов загрязнений в атмосферу от локальных источников (вулканы, антропогенные катастрофы и т. д.). Такие аномалии являются

следствием каких-то еще скрытых на момент наблюдения физических явлений и могут быть использованы для их прогнозирования.

К сожалению, использование солнечного фотометра не позволяет его применять ночью, а также в дождливую и пасмурную погоду. На рисунках 2—6 приведены параметры атмосферы в зависимости от гринвичского времени (GMT). Местное время = GMT + 5. На рисунке 2 вертикальными линиями внизу указаны разрывы параметров (последнее измерение дня), возникающие при прекращении измерений из-за невозможности наблюдений в ночное время или пасмурную погоду. Совместный анализ аномально изменяющихся параметров, включая температуру воздуха и давление, позволяет и в этом случае обнаружить физические факторы, которые могут влиять на измеряемые величины.

#### Аэрозольная оптическая толщина

Аэрозольная оптическая толщина (АОТ) вычисляется как логарифм пропускания столба атмосферы за вычетом рэлеевского рассеяния воздуха и вкладов от ослабления света парниковыми газами. Эта величина характеризует уменьшение прозрачности атмосферы за счет рассеяния и поглощения света на частицах аэрозоля. Чем выше концентрация частиц в воздухе, тем выше АОТ.

Перед Афганским землетрясением аномальное поведение АОТ, при отсутствии пылевых вторжений и смены воздушных масс, наблюдалось с 21 октября года, то есть за 5 суток до землетрясения, что полностью соответствует закономерности, обнаруженной в [5, 6]. При этом обнаружены аномально высокие значения АОТ (рис. 2).

Резкий рост АОТ происходит синхронно с быстрым увеличением давления воздуха. Гораздо более сильные изменения аэрозольного состава атмосферы произошли 22 и 23 октября, т. е. в 4-й и 3-й дни перед землетрясением.

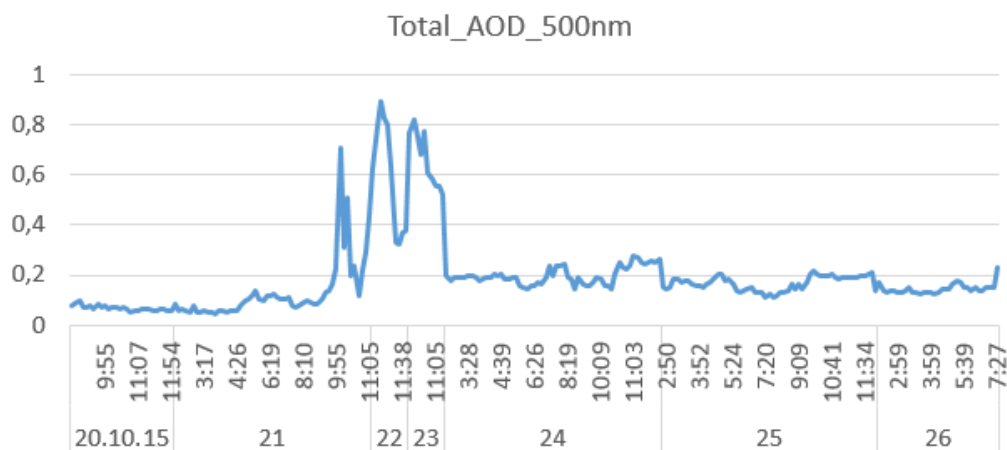


Рис. 2. Ход АОТ атмосферы в г. Душанбе 20—26 октября 2015 г. перед афганским землетрясением 26 октября 2015 г., время гринвичское (GMT).

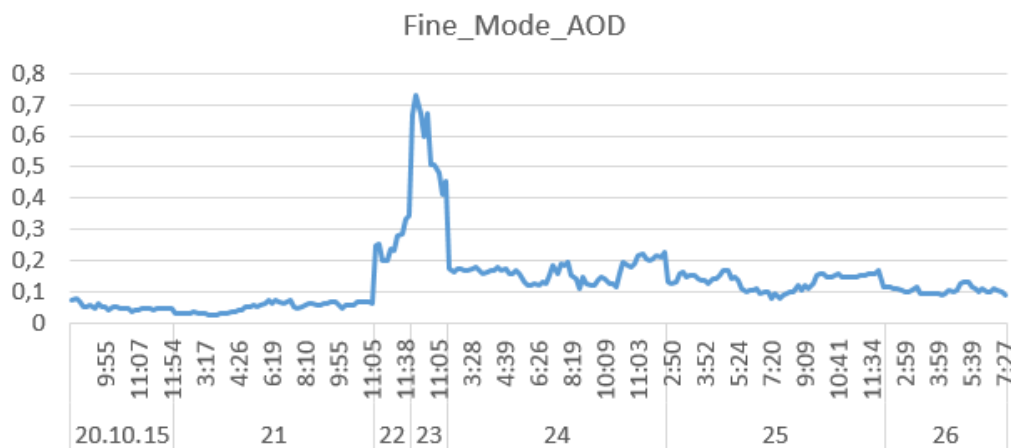


Рис. 3. АОТ субмикронной моды аэрозоля 20—26 октября 2015 г., время гринвичское (GMT).

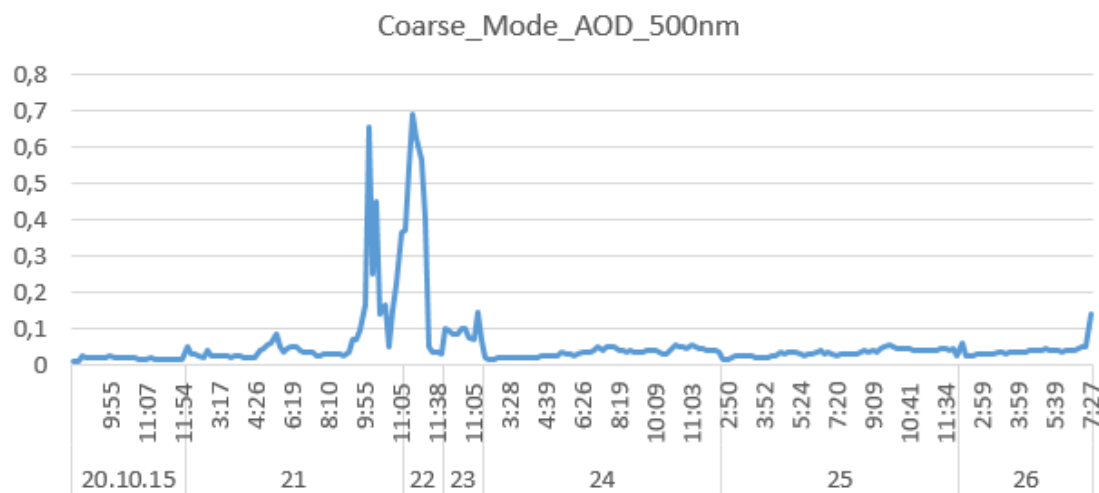


Рис. 4. АОТ крупнодисперсной моды аэрозоля 20—26 октября 2015 г., время гринвичское (GMT).

Обнаружен синхронный аномальный ход изменения АОТ, АОТ субмикронной (рис. 3) и крупнодисперсной моды аэрозоля (рис. 4), параметра Ангстрема (рис. 5) и общего содержания водяного пара (ОСВП) (рис. 6). Перед Афганским землетрясением АОТ субмикронной моды более, чем в 7.5 раза выше, чем крупнодисперсной моды.

#### Параметр Ангстрема.

Помимо сбоев периодичности температуры и давления, аномальных всплесков АОТ, связанных с изменением мод дисперсности аэрозоля, наблюдается аномальное поведение параметра Ангстрема. Параметр Ангстрема характеризует степень дисперсности частиц в атмосфере. Чем ближе к нулю параметр Ангстрема, тем выше размер частиц, когда параметр Ангстрема близок к двум — размеры частиц минимальны.

Самый первый всплеск АОТ никак не отразился на параметре Ангстрема. Однако другие два всплеска параметра Ангстрема (увеличение размеров частиц) 21 октября соотносятся со всплесками относительной влажности воздуха и наблюдаемую визуально в это время дымку. Изменение дисперсного состава аэрозоля перед землетрясением, резкое увеличение размеров частиц (рис. 5), синхронное с изменениями АОТ, произошло 22 и 23 октября. Данные по первой половине дня 22 и 23 октября отсутствуют — из-за высокой облачности и влажности воздуха фотометр не работал.

Перед Афганским землетрясением произошел аномальный рост параметра Ангстрема, связанный с ростом вклада субмикронной фракции аэрозоля (рис. 3). В эти дни обнаружено также аномальное поведение еще нескольких метеорологических и атмосферных параметров.

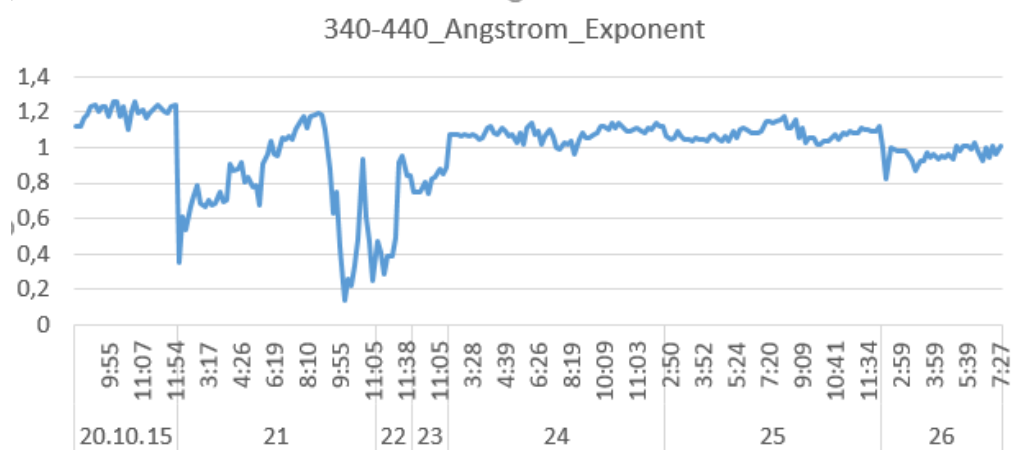


Рис. 5. Ход параметра Ангстрема 20 — 26 октября 2015 г.

### Водяной пар.

На рисунке 6 изображен ход содержания водяного пара, в вертикальном столбе атмосферы перед землетрясением 26 октября 2015 года. Аномально быстрое увеличение содержания водяного пара 22 и 23 октября произошло синхронно с аномальным изменением других метеорологических, оптических и микрофизических параметров атмосферы. За 6 дней до землетрясения содержание водяного пара в вертикальном столбе очень быстро возрастает в 2 раза. При сейсмических событиях перед землетрясением происходит резкое аномальное изменение содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы. При этом увеличивается масса воды, сконденсировавшейся на частицах.

Аномальное изменение может быть связано с выбросом заряженных частиц, радона, водорода, метана и других газов в атмосферу перед землетрясением в сейсмической зоне и их взаимодействием с атмосферными газами. Поляризация и ионизация молекул водяного пара, этими наведенная сейсмогенными выбросами, усиливает их взаимное притяжение и конденсацию. Считается, что возникновение поляризационных аномалий электромагнитного поля, может быть одним из признаков-предвестников предстоящего землетрясения [13, 14]. Если ионизация молекул атмосферных газов (азот, кислород) происходит в ночное время, то рекомбинацию возбужденных молекул и атомов можно наблюдать как свечение над сейсмической зоной, являющееся одним из наиболее известных краткосрочных предвестников. Однако пока нет оснований считать, что это те же самые выбросы в атмосферу, что и вызывающие аэрозольные аномалии.



Рис. 6. Общее содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в г. Душанбе.

Электрическое поле и заряженные частицы в атмосфере приводит к ионизации молекул воздуха и аэрозолей [15, 16]. Известно, что молекула воды ( $H_2O$ ) имеет постоянный некомпенсированный дипольный момент. Один из наблюдаемых предвестников землетрясений — оптическое свечение атмосферы происходит за счет перехода электрически возбужденных молекул в основное состояние.

Водяной пар является более чувствительным, чем озон и двуокись азота, к процессам, связанным с изменениями состояния атмосферы перед землетрясениями, и находится преимущественно в подоблачном слое атмосферы. В литературе описаны наблюдения аномального поведения общего содержания озона вблизи от эпицентра землетрясений [17], хотя предлагаемые причины аномалий вызывают сомнения. В нашей работе существенных аномалий хода содержания озона и двуокиси азота, по измерениям солнечного фотометра перед землетрясением обнаружить не удалось, возможно, из-за большого расстояния от эпицентра землетрясения и слишком слабого влияния сейсмогенных эффектов на эти газы. При достаточно высоком содержании этих газов в атмосфере воздействие на них сейсмических выбросов в атмосферу происходит, видимо, опосредованно, через сконденсировавшийся водяной пар. Капли воды в атмосфере служат стоками для молекул озона [18], приземное содержание озона (ПСО) резко уменьшается в пасмурную погоду. Быстрое осаждение аэрозоля, сопровождающееся конденсацией водяного пара на частицах, также приводит к резкому уменьшению ПСО [11].

Для двуокиси азота вода также является одним из компонентов её трансформации. Следует предположить, что наземные измерения содержания этих газов можно использовать как предвестники сейсмических явлений. Однако при этом необходимо контролировать отличие сейсмически-активированной конденсации водяного пара от обычных метеорологических явлений в атмосфере.

#### 4. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АТМОСФЕРЫ

Сбой обычного противофазного изменения температуры и давления наблюдался на всех метеостанциях вокруг очага землетрясения с 17.10.2015 г. Этот эффект иллюстрирован примером измерений на метеостанции Душанбе (рис. 7, 8):  $38^{\circ}33' 33,86''$ , с. ш., долгота  $68^{\circ}51' 23,79''$  в. д., расстояние от эпицентра землетрясения 250 км.

Изменения температуры и давления фиксируются круглосуточно и позволяют наблюдать отображение явлений, происходящих в толще атмосферы непосредственно в приземном слое атмосферы. Это позволяет использовать их для объяснения аномального поведения оптических и микрофизических параметров атмосферы. И наоборот, ход аэрозольных параметров атмосферы проясняет причины изменения температуры и давления. Причиной этого является то, что изменения давления, как правило, связаны с изменением давления водяного пара за счет его конденсации или испарения.

Изменение точки росы перед землетрясением (Рис. 9) отражает изменение состояния водяного пара в атмосфере, где действуют мощные силы, влияющие на конденсацию состояния водяного пара. Резкое падение точки росы происходит в 13.5—17 часов местного времени, т. е. в то же самое время, когда появляется всплеск АОТ, предвестник землетрясения. На графике относительной влажности (Рис. 10) в это время — широкий минимум, смещенный на более позднее время от обычного положения, коррелирующего с дневным максимумом температуры.

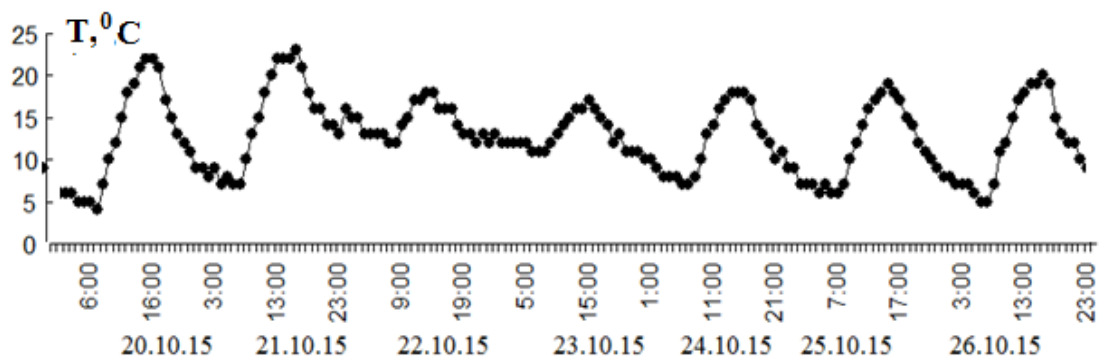


Рис. 7. Ход температуры воздуха на метеостанции Душанбе 10 – 26 октября 2015 г.

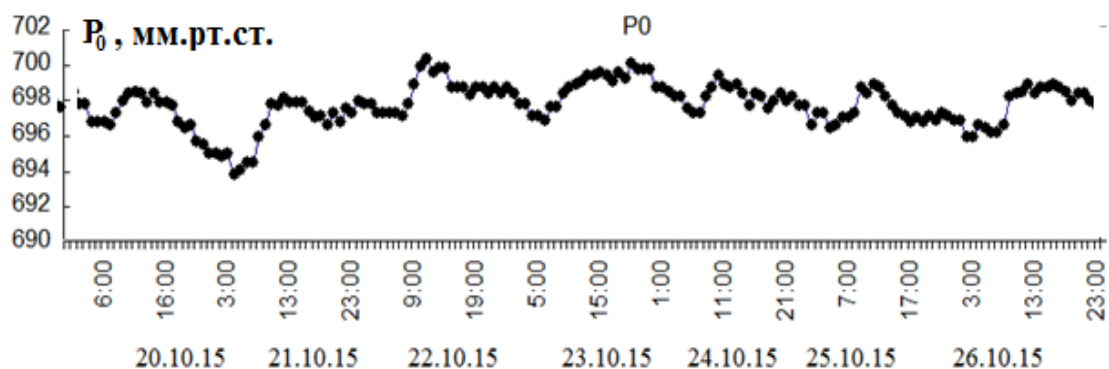


Рис. 8. Ход давления воздуха на метеостанции Душанбе 10 – 26 октября 2015 г.

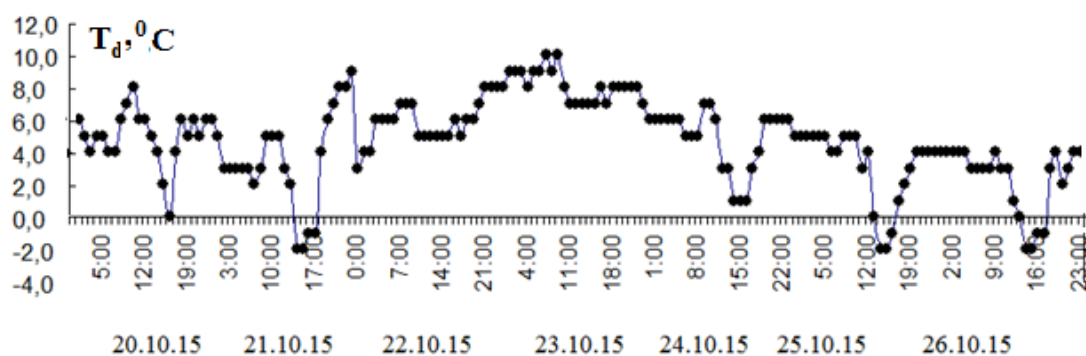


Рис. 9. Изменение температуры точки росы, метеостанция Душанбе.

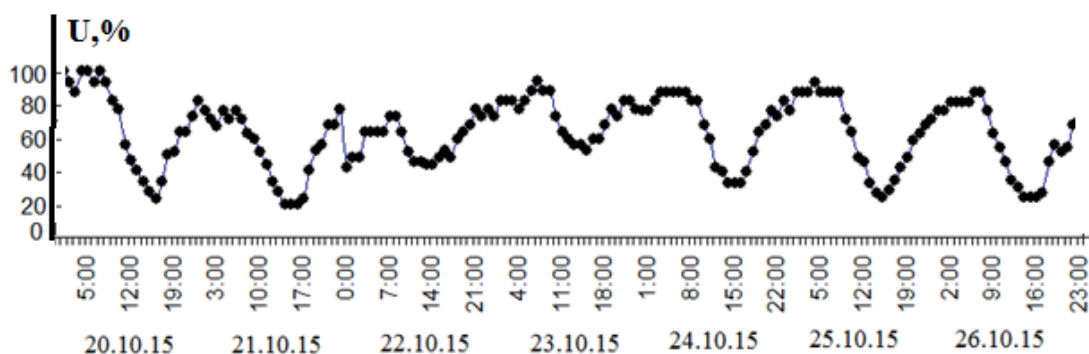


Рис. 10. Относительная влажность воздуха на высоте 2 м, метеостанция Душанбе.

Следующие два дневных минимума  $T_d$  отсутствуют, в насыщенной водяным паром и водяными частицами аэрозоля атмосфере, хотя закон линейной связи температуры точки росы и относительной влажности воздуха, конечно, выполняется. Это видно по схожести хода  $T_d$  и  $U$ . Резкое уменьшение относительной влажности воздуха и температуры точки росы, произошедшее в ночь с 21 на 22 октября, видимо привело к значительному росту содержания капель аэрозоля в воздухе. Судя по высоким АОТ 22—24 октября, отсутствию сильного ветра и появлению дымки, образовавшаяся капельно-аэрозольная шуба подобно пылевой дымке способна долго находиться в воздухе, не осажаясь из-за малых размеров частиц и отсутствия условия для быстрого осаждения по механизму двойной диффузии [11-13].

Судя по данным AERONET, в ночь с 22 на 23 октября осаждались крупные частицы (рис. 4), поскольку у земли температура всё же ниже, чем на высоте, а при образовании бидиффузионных конвективных ячеек процесс осаждения аэрозоля продолжается пока хоть на какой-то высоте сохраняются условия конвективной неустойчивости. В следующую ночь осаждаются уже вновь образовавшиеся мелкие частицы, причем это произошло с выпавшим дождем (рис. 3). Очевидно, всё это время продолжали действовать факторы, вызывающие ускорение конденсации водяного пара.

Температура точки росы, близкая к температуре воздуха воспринимается людьми очень неблагоприятно, что, видимо, также может использоваться в качестве предвестника сейсмических событий. Относительная влажность воздуха несколько выше, чем в «обычной» атмосфере за счет более низкой температуры воздуха, так как увеличение аэрозольного поглощения и рассеяния света каплями воды не позволяет солнечному свету дойти до поверхности Земли.

Сбой нормального хода температуры и давления в атмосфере начался в этом сейсмоопасном регионе значительно раньше, чем в данных AERONET было отмечено аномальное изменение оптических и микрофизических параметров атмосферы и влагосодержания воздуха. Аномальный рост АОТ может быть происходить из-за роста поглощения субмикронными частицами, или увеличения рассеяния крупнодисперсной модой аэрозольных частиц. При аномально быстром росте АОТ содержание водяного пара быстро падает, а параметр Ангстрема аномально уменьшается, то есть растет размер водяных частиц. Аномальное повышение АОТ, вызванное крупнодисперсной модой аэрозоля, сопровождается аномальным уменьшением параметра Ангстрема, а аномальное



повышение АОТ, вызванное субмикронной модой аэрозоля, приводит к аномально высоким значениям параметра Ангстрема. Высокое аномальное значение АОТ сопровождается изменением дисперсного состава аэрозольных частиц в атмосфере.

Проведенный анализ атмосферных предвестников землетрясений свидетельствует, что изменения свойств атмосферы происходят в течение нескольких дней перед землетрясением и надежно фиксируются стандартными приборами, используемыми для мониторинга атмосферы. Синхронность наблюдаемых вариаций параметров связана как с известными физическими явлениями в атмосфере (коагуляция водяного пара, коалесценция капель, коагуляция частиц, рост размеров частиц), так и с недостаточно ещё изученными явлениями в ионизированной сейсмически атмосфере, вызывающими возмущения в атмосферных процессах. Пока можно определенно заключить, что помимо известных уже электрических явлений в атмосфере перед землетрясением, связанных с ионизацией молекул воздуха над всей сейсмической областью, происходят также микрофизические изменения, в частности, быстрая конденсация водяного пара с вытекающим из этого ростом размеров мелкодисперсной фракции аэрозоля и соответствующим ростом аэрозольной оптической толщи. Соотношение температуры и влагосодержания воздуха, мощность землетрясения и сейсмотектонические условия, видимо, определяют наблюдаемые различия предвестников.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможность применения для изучения атмосферных предвестников аппаратуры, используемой для постоянного мониторинга атмосферы, облегчает возможность мониторинга сейсмических предвестников. В настоящее время анализ и интерпретация аномалий динамики атмосферных параметров проводятся очень редко, однако уже есть теоретическое понимание физики происходящих явлений [11-13]. Перспективной является и возможность использования существующих сетей станций мониторинга атмосферы (например, AERONET) для прогнозирования времени и места землетрясений.

Проведенный анализ экспериментальных данных показал, что атмосферные параметры заметно изменяются за несколько дней до землетрясения. Это связано, видимо, с выбросом в атмосферу газов и элементарных частиц, которые ионизируя молекулы водяного пара, ускоряют их конденсацию. Следствием этого являются резкие всплески АОТ и уменьшение параметра Ангстрема из-за роста размеров частиц с оболочкой из сконденсировавшейся воды. Одновременно возрастает и концентрация мелкой фракции аэрозоля, это означает конденсационный рост мелких частиц во всем объеме. Соответственно содержание водяного пара уменьшается, поскольку конденсируется именно имеющийся в атмосфере пар, а не вновь испарившийся или перенесенный ветром.

Происходящая быстрая конденсация водяного пара приводит к падению атмосферного давления. Увеличение аэрозольного поглощения и рассеяния света приводит к более сильному нагреву воздуха. Таким образом, описанные процессы являются физической причиной изменений температуры и давления, предшествующих сейсмическим явлениям.

Анализ закономерностей аномального поведения оптических и микрофизических параметров атмосферы перед землетрясением магнитудой свыше 6 баллов, зафиксированных на станции AERONET, ближайшей к эпицентру землетрясения, позволил прояснить физическую природу происходящих в атмосфере явлений. Удалось, в частности, понять факторы, обуславливающие возможность сейсмологического прогноза землетрясений по появлению аномалий в ходе температуры и давления [8-10].

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят доктора технических наук А. В. Тертышникову за помощь в подготовке статьи.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Садовский М.А. Основы прогноза землетрясений. - В сб.: Прогноз землетрясений, №3, Душанбе – Москва: Дониш, 1983. - 220 с.
2. Садовский М.А., Авюх Ю.Н., Барсуков О.М. Геофизические и геохимические предвестники. - ИФЗ АН СССР, 1981. - 187 с.
3. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. - М.: Наука, 1993. - 313 с.
4. Аристотель. Метеорологика // Сочинения: в 4 т. / Ред. и авт. вступит. статьи И. Д. Рожанский. Пер. Н. В. Брагинской. М.: Мысль, 1981, т. 3. - с. 443-56. - 613 с.
5. Sverdluk Variations of atmospheric aerosol parameters in periods of seismic activity in Tien-Shan. E3S Web of Conferences 149, 03007 (2020). <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202014903007>
6. Тертышников А.В., Важенин А.А. Аномальные пятисуточные вариации оптической толщины атмосферы над сейсмоопасными регионами перед сильными коровыми землетрясениями. - Гелиогеофизические исследования, 2012 г. Вып.2. С.33-39.
7. Тертышников А.В. Сейсмоозонные эффекты и проблема прогнозирования землетрясений. – СПб.: ВИКА, 2000. - 304 с.
8. Садовский М.А., Баннов Ю.А., Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х. Явление сбоя равновесного состояния функций температуры и давления в атмосфере и замкнутых объемах перед землетрясениями. - В сб.: Прогноз землетрясений, №1, Душанбе: Дониш, 1985, №6. С.242-266.
9. Баннов Ю.А., Мирзоев Л.М., Негматуллаев С.Х. Способ прогнозирования землетрясений. – Авторское свидетельство, №1247808 от 01.04.1986 г.
10. Негматуллаев С.Х., Мирзоев К.М., Алимов О.А., Рубцов Л.Н. Метеорологические и ионосферные эффекты в период Гиссарского землетрясения. - ДАН РТ, 1996, Т.39. №3-4. С.71-75.
11. Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И. О природе быстрого осаждения аэрозоля в атмосфере// Доклады Академии наук Республики Таджикистан. - 2017, Т.60. №10. С.510-515.
12. Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф., Назаров Б.И. О возможном механизме быстрого осаждения аэрозоля в атмосфере// Известия РАН. Физика атмосферы и океана. - 2018 Т.50. №4. С.489-491.
13. Maslov V., Abdullaev S., Nazarov B. Observation of rapid aerosol deposition according to AERONET data // 03006 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199903006>.
14. С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов, Б.И. Назаров. Вариации параметров пылевого аэрозоля в Душанбе по данным AERONET // Матер. Межд. конф. по физ. конд. сост. - Душанбе: Дониш, 2013. С.187-191.
15. Санаев В.Г., Давыдов В.Ф., Кузнецов О.Л., Никитин А.Н. Явление возникновения поляризационных аномалий электромагнитного поля над очагом землетрясения. - Научное открытие, 2007. № 336.
16. Кашлева Л.В. Атмосферное электричество. - СПб.: РГГМУ. - 2008. - 116 с.
17. Дергунов А. В., Кашкин В.Б. Изучение влияния сильных землетрясений на вариации озона по данным дистанционного зондирования. – Решетневские чтения, 2016. 1(20). С.362-364.
18. Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Назаров Б.И. Изменчивость содержания приземного озона с запыленностью воздуха // Проблема тропосферного озона. Труды института общей физики им. А.М.Прохорова РАН. Москва, 2015, Т.71. С.162-173.

**AN ABNORMAL VARIATIONS OF ATMOSPHERIC PARAMETERS (AERONET, DUSHANBE) AS PRECURSORS OF THE AFGHAN EARTHQUAKE OF 10/26/2015 WITH M = 7.2**

Abdullaev S. F., Maslov V. A. , Lugmonova Sh. O.

The analysis of data of 15-minute measurements of a number of optical and microphysical characteristics of atmospheric aerosol obtained using a CIMEL CE-318 Sun-photometer of the AERONET network in Dushanbe. The analysis of atmospheric earthquake precursors was carried out according to the data of the AERONET station in Dushanbe before the Afghan earthquake on 26.10.2015 with a magnitude of  $M = 7.2$ . The microphysical processes occurring in the atmosphere above the seismic zone are considered. It is shown that the seismic variation of atmospheric precursors is mainly associated with the rapid condensation of water vapor on aerosol particles. Possible precursors of seismic hazard have been identified.

**KEYWORDS:** EARTHQUAKES, PRECURSORS, METEOROLOGICAL PARAMETERS, AEROSOL OPTICAL THICKNESS, ANGSTROM PARAMETER, HUMIDITY, WATER VAPOR, CONDENSATION.