

25.00.30 Метеорология, климатология, агрометеорология
25.00.30 Метеорология, климатология, агрометеорология
25.00.30 Meteorology, climatology, agrometeorology

УДК 551.576. 551.521.3
ББК Д217с512

**АТМОСФЕРНЫЕ АНОМАЛИИ
ПЕРЕД РУШАНСКИМ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 17.02.2013
ГОДА** *Лугмонова Шафоат Одилджоновна - соискатель
лаборатории физики атмосферы Физико-технического
института им. С. У. Умарова АН Республики
Таджикистан. 734063, г. Душанбе. ул. Айни, 299/1, ЛФА
ФТИ им. С. У. Умарова АН РТ, e-mail:
lugmonovash94@mail.ru*

**ТАҒЙИРОТҲОИ
ҒАЙРИМУҚАРРАРИИ
АТМОСФЕРӢ ПЕШ АЗ
ЗАМИНЛАРЗАИ РӢШОН ДАР
ТАӒРИХИ 17.02.2013** *Лугмонова Шафоат Одилҷоновна - унвонҷӯи
лабораторияи физикаи атмосфераи Институти физикаю
техникаи ба номи С. Умаров, Академияи илмҳои ҶТ
(Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе), e-mail:
lugmonovash94@mail.ru*

**ATMOSPHERIC ANOMALIES
BEFORE THE RUSHAN
EARTHQUAKE 17.02.2013** *Lugmonova Shafoat Odiljonovna - Applicant Laboratory of
Atmospheric Physics, S.U. Umarov Physical- Technical
Institute Academy of Sciences of the of the Republic of
Tajikistan (LAP PhTI AS RT Dushanbe), e-mail:
lugmonovash94@mail.ru*

Ключевые слова: землетрясения, предвестники, метеорологические параметры, аэрозольная оптическая толщина; параметр ангстрема, водяной пар, конденсация.

Проведён анализ данных измерений ряда оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля, проводившихся с 15-минутным интервалом солнечным фотометром CIMEL CE-318 на станции AERONET в г. Душанбе перед Рушанским землетрясением 17.02.2013 г. с магнитудой $M=4,6$. 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.

Вожаҳои калидӣ. zilzila, пешгӯи, параметрҳои метеоролог., ғафсии оптикӣи аэрозол; параметри ангстрем, буги об, конденсатсия.

Таҳлили маълумотҳои ченкунии 15-дақиқагии як қатор хусусиятҳои оптикӣ ва микрофизикии аэрозоли атмосфера, ки бо фотометри офтобии CIMEL CE - 318 истигоҳи AERONET дар Душанбе пеш аз заминларзаи Рӯшон дар 17 феввали соли 2013 бо шиддати $M = 4,6$ ба даст омадааст. Равандҳои микрофизикӣ, ки дар атмосфера дар минтақаи сейсмикӣ ба амал меоянд, баррасӣ карда мешаванд. Нишон дода шудааст, ки тағирёбии сейсмикӣи пешгӯиҳои атмосферӣ асосан бо конденсатсияи зудтари бухори об дар зарраҳои аэрозол алоқаманд аст. Пешгӯиҳои эҳтимолии хатари сейсмикӣ муайян карда шуданд.

Key words: earthquakes, precursors, meteorological parameters, aerosol optical thickness, Angstrom parameter, water vapor, condensation.

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 Rushan earthquake on 17.02.2013 with a magnitude of $M = 4.6$. 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.

Землетрясения - частые явления на нашей планете. Почти половина населения Земли живет под постоянной угрозой катастрофических подземных толчков [1]. Вероятные места возникновения землетрясений на территории Таджикистана известны. Главная трудность - определить время подземных толчков и координаты района предстоящих сейсмических событий. За последние десятилетия стали известны многие закономерности в развитии землетрясений. Созданы основы для прогнозирования в будущем этого природного явления. Очевидна необходимость организации сети наблюдений, позволяющей дать прогноз, используя известными моделями, их стадиями, их признаками и возможными местами подготовки землетрясений.

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 среднесуточной аэрозольной оптической толщи (АОТ), измеренной солнечным 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.

Статистическими методами [6] была исследована обнаруженная ранее закономерность [7] увеличения АОТ на ближайшей к эпицентру 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]. Недостатком этого метода также является отсутствие физического объяснения механизма явления, а также отсутствие универсальности предвестника.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Мониторинг атмосферных параметров с целью оценки сейсмической опасности весьма актуален для Таджикистана, так как республика находится в активной сейсмической зоне.

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 и осаждением сконденсировавшейся воды, все данные AERONET необходимо рассматривать на уровне level 1.0, чтобы не потерять важную информацию о происходящих процессах.

В таблице 1 приведены характеристики землетрясений с магнитудой выше 3.5 баллов, зафиксированных девятью сейсмостанциями Геофизической службы НАНТ в 2013 года. В таблице обозначено: D - глубина очага, E - энергетический класс, M - магнитуда, S(L) - ближайшая станция к эпицентру землетрясения (расстояние до нее), R - Расстояние до эпицентра (Душанбе).

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 **обычно** находится к югу от Душанбе, путь солнечного света к фотометру проходит и над территорией, близкой к эпицентру сейсмической зоны, создавая наилучшие условия для 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.

№ п/п	Дата	Время по Гринвичу			Координаты		D, км	E	M	S(L)	
		час	мин	сек	φ° С.Ш.	λ° В.Д.					
	01.01.13	15	43	05	38,51	68,82	5	7,9	3,2	Рушан(84)	7
	22.01.13	15	09	18	36,4	68,9	20	13,2	5,1	Рушан(84)	236
	04.02.13	17	47	49	37,59	70,29	30	11,4	4,1	Рушан(84)	167
	17.02.13	01	35	07	36,45	71,5	100	12,3	4,6	Рушан(114)	332
	03.03.13	03	12	24	38,51	71,54	10	12,4	4,7	Ишкашим(32)	237
	18.03.13	01	07	42	36,5	70,2	200	12,7	4,8	Хороғ(113)	258
	04.04.13	6	31	33	36,8	71,2	250	14,0	5,6	Хороғ(113)	282
	05.04.13	22	55	01	36,45	71,3	100	13,3	5,2	Хороғ(80)	315
	24.05.13	22	18	30	40,92	69,2	10	14,1	5,6	Хороғ(80)	262
	26.05.13	06	08	16	39,9	67,6	10	15,0	6,1	Худжанд(78)	180
	24.06.13	08	05	25	37,4	69,35	10	12,1	4,5	Худжанд(78)	135

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 рис.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.

В настоящей работе проведено исследование аномального поведения параметров атмосферы (прозрачность атмосферы, аэрозольная оптическая толщина (АОТ), АОТ субмикронной и крупнодисперсной фракций аэрозоля, параметр Ангстрема, содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы, функция распределения частиц по размерам (ФРЧР)) перед Рушанским землетрясением 13 февраля 2013 г.

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 Рушанским землетрясением аномальное поведение АОТ, при отсутствии пылевых вторжений и смены воздушных масс, наблюдалось с 14 февраля 2013 года, то есть за 3 суток до землетрясения, что полностью соответствует закономерности, обнаруженной в [5, 6]. При этом обнаружены аномально высокие значения АОТ (рис. 1).

Резкий рост АОТ происходил синхронно с быстрым увеличением давления воздуха. Гораздо более сильные изменения аэрозольного состава атмосферы произошли 13 и 14 февраля, т.е. в 4-й и 3-й дни перед землетрясением.

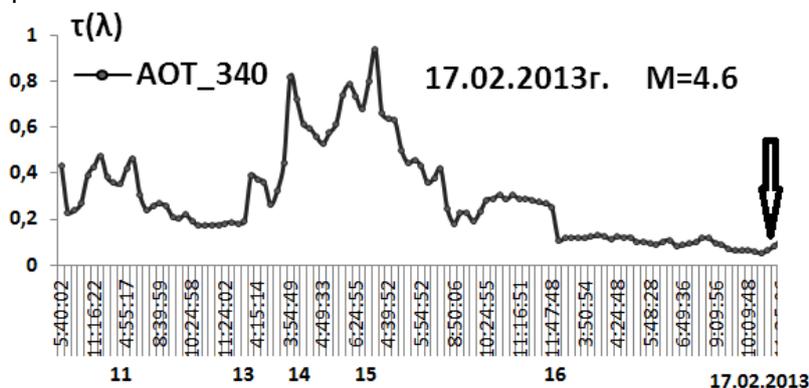


Рис. 1. Ход АОТ атмосферы в г. Душанбе 11 – 17 февраля 2013 г. перед Рушанским землетрясением 13 февраля 2013 г., время гринвичское (GMT).

Прозрачность атмосферы (P_λ), определяется как:

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

где S_λ^0 – интенсивность светового луча до атмосферы;

S_λ – интенсивность светового луча прошедший через атмосферу

λ –длина волны излучения.

Аномальное поведение прозрачности отмечено также 13-14 февраля, то есть за 3-4 дня до сейсмического события (рис. 2).

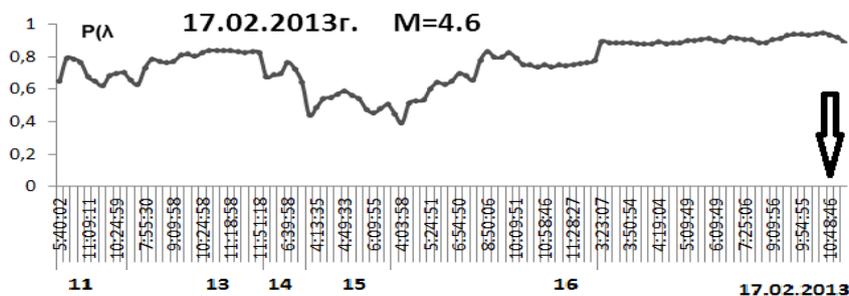


Рис. 2. Ход прозрачность атмосферы в г. Душанбе 11 – 17 февраля 2013 г. перед Рушанским землетрясением 13 февраля 2013 г., время гринвичское (GMT).

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 Рушанским землетрясением АОТ субмикронной моды выше, чем крупнодисперсной моды.

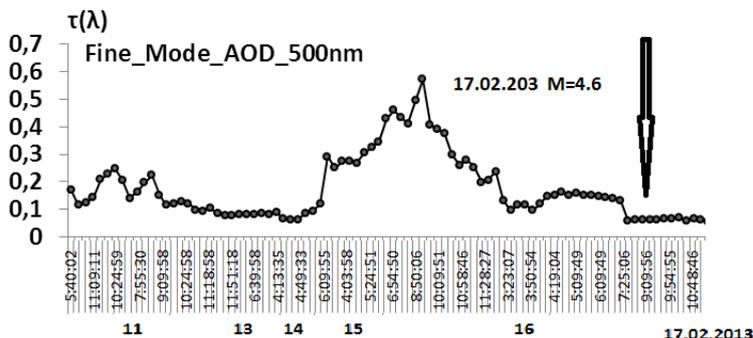


Рис. 3. АОТ субмикронной моды аэрозоля 11-17 февраля 2013 г., время гринвичское (GMT).

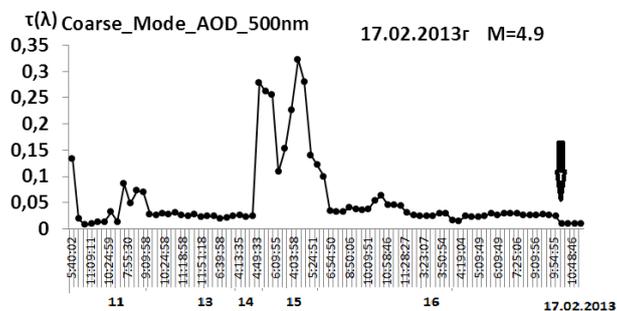


Рис. 4. АОТ крупнодисперсной моды аэрозоля 11-17 октября 2013 г., время гринвичское (GMT).

Параметр Ангстрема

Помимо сбой 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) 14 февраля 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 13 и 14 февраля. Данные по первой половине дня 13 и 14 февраля 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). Обнаружено также аномальное поведение еще нескольких метеорологических и атмосферных параметров.

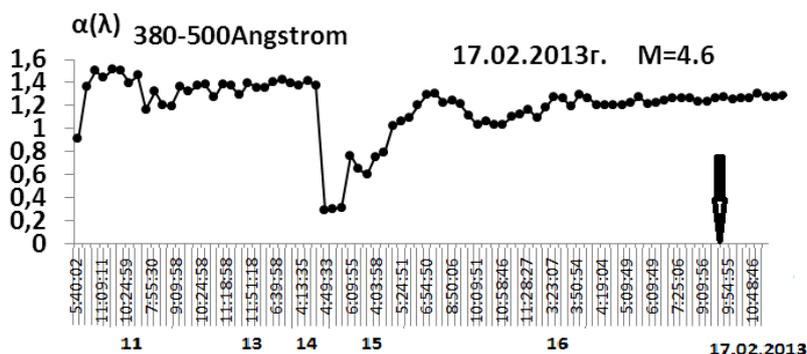


Рис. 5. Ход параметра Ангстрема 11–17 февраля 2013 г.

Водяной пар

На рис. 6 изображен ход содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы перед землетрясением 17 февраля 2013 года. Аномально быстрое уменьшение содержания водяного пара 13 и 14 февраля произошло синхронно с аномальным изменением других метеорологических, оптических и микрофизических параметров атмосферы. За 3-4 дней до землетрясения содержание водяного пара в вертикальном столбе очень быстро уменьшилось в 2 раза. При сейсмических событиях перед землетрясением происходит резкое изменение содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы.

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, 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.

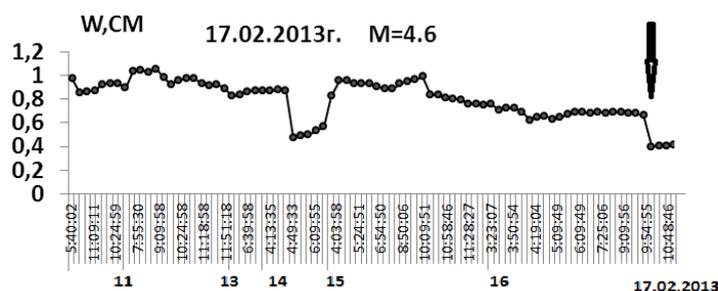


Рис. 6. Общее содержание водяного пара в вертикальном столбе атмосферы в г. Душанбе перед Рушанском землетрясением.

Увеличение напряженности электрического поля и появление заряженных частиц в атмосфере перед землетрясением 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 находится преимущественно в подоблачном слое атмосферы и является более чувствительным, чем озон и двуокись азота, к процессам, связанным с изменениями состояния атмосферы перед землетрясениями, поскольку в атмосфере может меняться его фазовый состав с образованием капелек воды или ледяных частиц. В литературе описаны наблюдения аномального поведения общего содержания озона вблизи от эпицентра землетрясений [17], хотя предлагаемые причины аномалий вызывают сомнения. В нашей работе не обнаружено таких существенных аномалий хода содержания озона и двуокиси азота, по измерениям солнечного фотометра перед землетрясением 14.02.2013 как другие параметры (рис 11). 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.

Необходимо контролировать отличие сейсмически-активированной конденсации водяного пара от обычных метеорологических явлений в атмосфере.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АТМОСФЕРЫ

Сбой обычного противофазного изменения температуры и давления наблюдался на всех метеостанциях вокруг очага землетрясения с 7.02.2013 г. Этот эффект иллюстрирован примером измерений на метеостанции Душанбе (рис.7).

Изменения температуры и давления фиксируются круглосуточно, что позволяет наблюдать явления, происходящих 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.

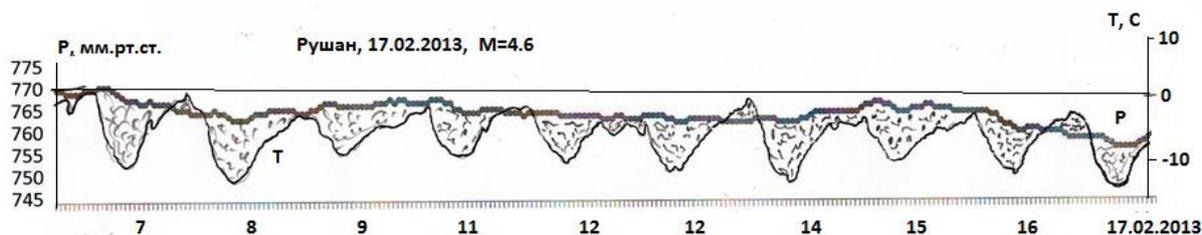


Рис. 7. Ход температуры воздуха и давления на метеостанции Душанбе 07 – 17 февраля 2013 г.

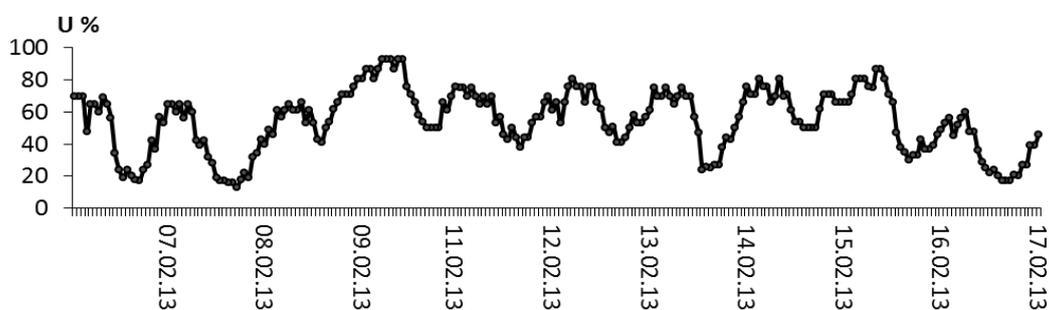


Рис. 8. Относительная влажность воздуха на высоте 2 м, метеостанция Душанбе

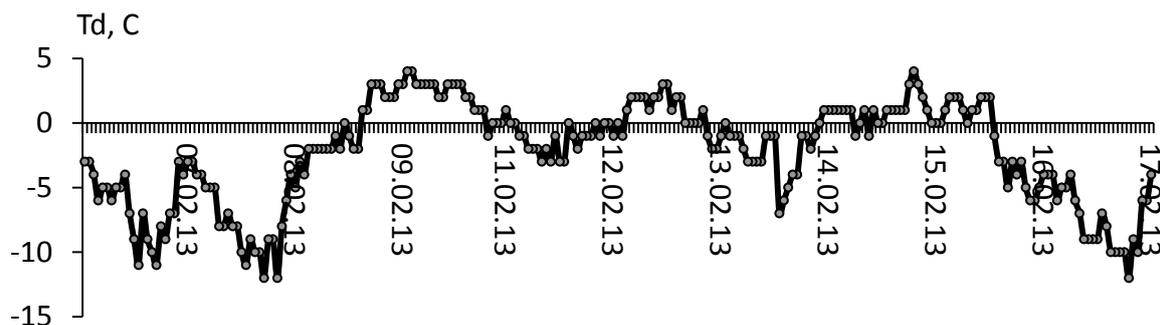


Рис. 9. Изменение температуры точки росы, метеостанция Душанбе
07 – 17 февраля 2013 г.

Изменение точки росы перед землетрясением отражает изменение состояния водяного пара в атмосфере, где действуют мощные силы, влияющие на конденсацию состояния водяного пара (рис.9). На графике относительной влажности в это время – широкий минимум, смещенный на более позднее время от обычного положения, коррелирующего с дневным максимумом температуры. Судя по этому параметру, изменения в атмосфере (повышение температуры точки росы) начались еще 8 февраля 2013 года. Архив метеорологических наблюдений в г. Душанбе (сайт <https://rp5.ru>) показывает, что в эти дни наблюдалась, в основном, безветренная погода с ливневыми дождями. Аэрозольные предвестники могли остаться незамеченными из-за отсутствия наблюдений солнечного фотометра. На рис.7 можно видеть, что нарушение антифазного изменения температуры и давления также относится к 8-9 февраля.

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 (рис.9) и U (рис.8). Резкое уменьшение относительной влажности воздуха и температуры точки росы, произошедшее в ночь с 14 февраля, видимо привело к значительному росту содержания капель аэрозоля в воздухе. Судя по высоким АОТ 14 февраля, отсутствию сильного ветра и появлению дымки, образовавшаяся капельно-аэрозольная шуба подобно пылевой дымке способна долго находиться в воздухе, не осаждаясь из-за малых размеров частиц и отсутствия условия для быстрого осаждения по механизму двойной диффузии [11-13].

Судя по данным AERONET (Рис.4), в ночь 14 февраля осаждались крупные частицы, поскольку у земли температура была ниже, чем на высоте, а при образовании бидиффузионных конвективных ячеек процесс осаждения аэрозоля продолжался, 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 (рис.9).

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. Наблюдаемые различия поведения атмосферных предвестников, по-видимому, определяются соотношением температуры и влагосодержания воздуха, мощностью землетрясения и сейсмотектоническими условиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Б. А. Землетрясения: Стихия и человек. / Б. А. Борисов //М.: Наука, 1982. - С.46.
2. Садовский, М.А. Геофизические и геохимические предвестники. / М.А. Садовский, Ю.Н. Авях, О. М. Барсуков и др. //Изд-во ИФЗ АН СССР.,187 с.
3. Соболев, Г.А. Основы прогноза землетрясений /Соболев Г.А. //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. L. Sverdlik 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. 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.
7. Тертышников, А.В. Сейсмоозонные эффекты и проблема прогнозирования землетрясения / А.В. Тертышников // СПб.- 1999. -196 с.
8. 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.-Душ.- Дониш. -1985.- №1.- №6.- с.- 242-266.
9. 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.
10. Негматуллаев, С.Х. Метеорологические и ионосферные эффекты в период Гиссарского землетрясения /С.Х. Негматуллаев, К.М. Мирзоев, О.А. Алимов, Л.Н. Рубцов //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.

REFERENCES

1. Borisov B.A. Earthquakes: Elements and Man. / B. A. Borisov // M.: Nauka, 1982. -- P.46.
2. Sadovsky, M.A. Geophysical and geochemical precursors. / M.A. Sadovskii, Yu.N. Avyukh, O. M. Barsukov, et al. // Izvestiya IFZ AN SSSR., 187 p.
3. Sobolev, G.A. Fundamentals of earthquake prediction / Sobolev G.A. // M., Science, 1993. -313 p.
4. Aristotle. Meteorology // Works: in 4 volumes / Ed. and ed. will enter. articles by I. D. Rozhansky. Per. N.V. Braginskaya. M.: Mysl, 1981, vol. 3.p. 443-56. 613p.
5. L. Sverdlik 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. Tertyshnikov, A.V. Abnormal five-day variations in the optical thickness of the atmosphere over earthquake-prone regions before strong crustal earthquakes / A.V. Tertyshnikov, A.A. Vazhenin // Heliogeophysical research. - 2012 - No. 2. - pp. 33-39.
7. Tertyshnikov, A.V. Seismozone effects and the problem of earthquake prediction / A.V. Tertyshnikov // SPB.- 1999. -196 p.
8. Sadovsky, M.A. The phenomenon of the failure of the equilibrium state of the temperature and pressure functions in the atmosphere and in closed volumes before earthquakes / M.A. Sadovsky, Yu.A. Bannov, K. M. Mirzoev, S.Kh. Negmatullaev // In: Prognosis of earthquakes.-Soul: - Donish. -1985.- No. 1.- No. 6.- pp.242-266.
9. Bannov, Yu.A. A method for predicting earthquakes / Yu.A. Bannov, L.M. Mirzoev, S.Kh. Negmatullaev // Copyright certificate No. 1247808 of 04/01/1986. - pp. 242-266.
10. Negmatullaev, S.Kh. Meteorological and ionospheric effects during the Gissar earthquake / S.Kh. Negmatullaev, K.M. Mirzoev, O.A. Alimov, L.N. Rubtsov // Izv. Of DAN RT.- 1996.- T.39. - No. 3-4. pp. 71-75.
11. Maslov, V.A. On the nature of rapid aerosol deposition in the atmosphere/ V.A. Maslov, S.F. Abdullaev, B.I. Nazarov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. – 2017. Vol. 60. No. 10. pp. 510-515.
12. Maslov, V.A. On the possible mechanism of rapid deposition of aerosol in the atmosphere / Maslov V.A., Abdullaev S.F., Nazarov B.I. // Izvestia RAN. Physics of the atmosphere and ocean. - 2018 Vol. 50. No. 4. pp.489-491.
13. Maslov, V. [Observation of rapid aerosol deposition according to AERONET data/](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199903006) Maslov, V., Abdullaev S., Nazarov B. // 03006 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199903006>
14. Abdullaev, S.F. Variations in the parameters of dust aerosol in Dushanbe according to AERONET / S.F. Abdullaev, V.A. Maslov and B.I. Nazarov // Mater. Int. conf. by physical cond. comp. - Dushanbe: Donish, 2013.pp.187-191
15. Sanaev, V.G. The phenomenon of the occurrence of polarization anomalies of the electromagnetic field over the earthquake source / Sanaev V.G., Davydov V.F., Kuznetsov O.L., Nikitin A.N. - Scientific discovery, 2007, No. 336.
16. Kashleva, L.V. Atmospheric electricity / Kashleva, L.V. // - SPb.: RGGMU, 2008, 116 p.
17. Dergunov, AV Study of the influence of strong earthquakes on ozone variations according to remote sensing data / Dergunov, AV, Kashkin VB. // - Reshetnev readings, 2016, 1 (20), pp. 362-364.
18. Abdullaev, S.F. Variability of the content of ground-level ozone with dustiness of air / Abdullaev S.F., Maslov V.A., Nazarov B.I. // Problem of tropospheric ozone. Proceedings of the Institute of General Physics. A.M. Prokhorov RAS. Moscow, 2015, v. 71. pp. 162-173.