

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.521.1

Радиационный режим г. Томска в условиях дымной мглы

Т.К. Складнева, Г.А. Ивлев, Б.Д. Белан, М.Ю. Аршинов,
Д.В. Симоненков*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 3.12.2014 г.

Представлены результаты анализа радиационного режима г. Томска в период дымной мглы от лесных пожаров в июле 2012 г. Показано, что при наличии дымной мглы суммарная солнечная радиация ослабляется в среднем на 45%, а ультрафиолетовая – на 60–65% по сравнению с аналогичными условиями в дни с типичным уровнем содержания аэрозоля для г. Томска. Сделаны оценки ослабления суммарной и ультрафиолетовой радиации при разной интенсивности дымной мглы. Определены параметры аэрозоля дымной мглы, влияющей на поглощение солнечной радиации. При сильном задымлении ослабление суммарной радиации достигало 70% и наблюдалось практически полное ослабление УФ-радиации.

Ключевые слова: солнечная радиация, ультрафиолетовая радиация, мониторинг, дымная мгла; solar radiation, ultraviolet radiation, monitoring, smoke haze.

Введение

Периодически на территории России возникают крупные очаги лесных пожаров, сопровождающиеся выделением в атмосферу дополнительного количества тепла, продуктов горения и приводящие к сильному задымлению населенных пунктов, в том числе крупных городов. Дымная мгла ухудшает условия жизни людей, становится причиной обострения хронических заболеваний. В связи с этим соответствующими органами разработан и выпущен ряд медико-санитарных рекомендаций [1].

Возникновение обширных лесных и торфяных пожаров в Московской области и соседних областях явилось причиной катастрофического задымления Москвы летом 2010 г. Исследованию изменений аэрозольных и радиационных характеристик атмосферы в этот период посвящен ряд публикаций [2–7]. Подобная ситуация наблюдалась в Новосибирске и Томске летом 2012 г. Города и их пригороды были окутаны дымной мглой от обширных лесных пожаров Томской области и Красноярского края. Анализу динамики основных химических компонентов аэрозольной фазы, изменению оптических и радиационных свойств атмосферы в этот период был посвящен ряд докладов и публикаций наших коллег [8–12]. В настоящей статье дана оценка влияния дымной мглы на приземную суммарную и ультрафиолетовую радиацию.

* Татьяна Константиновна Складнева (tatyana@iao.ru); Георгий Алексеевич Ивлев (ivlev@iao.ru); Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Михаил Юрьевич Аршинов (michael@iao.ru); Денис Валентинович Симоненков (simon@iao.ru).

Исходные данные

В качестве исходных данных использованы результаты измерения суммарной солнечной радиации Q стандартным пиранометром Ю.Д. Янишевского М-115М (диапазон измерения 300–2400 нм); интегральной интенсивности ультрафиолетовой радиации, измеряемой ультрафиолетовым пиранометром UVB-1 (Yankee Environmental Systems, Inc., США) в диапазоне длин волн 280–320 нм (далее под УФ- B -радиацией мы будем подразумевать значения интенсивности УФ-радиации, полученные пиранометром UVB-1); спектральной ультрафиолетовой радиации, измеряемой спектрофотометром Brewer MKIV № 049 в области ультрафиолетового спектра 290–325 нм с шагом 0,5 нм. Измерения проводятся в режиме мониторинга на базе автоматического поста (ТОР-станция) ИОА СО РАН [13]. Принципы работы приборов, методика проведения измерений и способы регистрации данных рассмотрены нами в [14, 15].

В работе также использованы результаты измерения CO_2 , счетной концентрации аэрозоля на ТОР-станции в Томске, базовом экспериментальном комплексе (БЭК), расположенном на восточной окраине города, и обсерватории «Фоновая» – около пос. Киреевск, находящейся в 60 км к западу от города на берегу р. Оби. На БЭКе и обсерватории «Фоновая» установлены идентичные автоматические комплексы, подробно описанные в [16]. Данные об аэрозольной оптической толщине (АОТ) на $\lambda = 500$ нм взяты с сайта глобальной сети AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>), в которой используются Sun-Sky-фотометры Cimel CE-318 (www.cimel.fr).

Анализ синоптической ситуации проведен с помощью «Синоптической базы Томска» [17]. База данных содержит ежедневные данные о количестве общей и нижней облачности, форме облаков, погодных условиях (наличие осадков и атмосферных явлений), синоптических ситуациях, в которые включаются тип воздушной массы и характерные термобарические элементы с 1993 г. по настоящее время. Анализ синоптических условий производится по приземным синоптическим картам и картам барической топографии, с учетом ежедневных метеорологических данных, получаемых на станции мониторинга атмосферных параметров ИОА СО РАН.

Обработка данных

Высота Солнца и облачность являются одними из главных факторов, определяющих поступление солнечной радиации. Поэтому, чтобы выделить изменение приходящей радиации дымной мглой, из массива данных были взяты случаи, когда количество облаков не превышало 2 баллов.

Для исключения влияния высоты Солнца приходящая радиация в условиях дымной мглы сопоставлялась с аналогичными величинами при фоновом уровне содержания аэрозоля. Для расчета последних выбран период 2003–2011 гг., который характеризовался высокой прозрачностью атмосферы. По данным [18], в период 1995–2008 гг. средняя АОТ для июля в Томске составила $0,17 \pm 0,04$ для $\lambda = 500$ нм.

Характеристика дымной мглы

Засушливое и жаркое лето 2012 г. в совокупности с дефицитом осадков привело к возникновению многочисленных лесных пожаров на территории Томской области и соседних областей. Населенные пункты были окутаны дымной мглой, и наблюдалось увеличение концентрации сопутствующих дымам газов. В качестве примера на рис. 1 (цв. вклейка) приведены высотные профили счетной концентра-

ции аэрозоля, CO , CO_2 , CH_4 в районе г. Красноярск, полученные в ходе летней самолетной кампании по маршруту Новосибирск – Томск – Мирный – Якутск – Братск – Абакан – Новосибирск в рамках Российско-французского проекта УАК-7 в июле–августе 2012 г. Случай соответствовал ситуации, когда с борта самолета визуально наблюдался старый шлейф лесного пожара в виде плотной аэрозольной дымки в пограничном слое атмосферы. На высоте 2000 м значения счетной концентрации аэрозоля достигали 2000 см^{-3} , CO – $1,2 \text{ млн}^{-1}$, а метана были больше $1,95 \text{ млн}^{-1}$.

Первые признаки дымной мглы в Томске были отмечены 19 и 25 июня, а в июле город был окутан дымной мглой в течение 20 дней (табл. 1).

На рис. 2 (цв. вклейка) показана временная динамика изменения суммарной и ультрафиолетовой радиации, а также счетной концентрации аэрозоля и CO в Томске, на БЭЖе и обсерватории «Фоновая» в июле 2012 г.

В этот период преобладало малоградиентное поле, наблюдался неустойчивый северный и северо-западный ветер, приземная средняя скорость ветра равнялась $1,29 \text{ м/с}$. Наиболее сильное задымление регистрировалось 20 июля и с 25 по 28 июля. Счетная концентрация аэрозоля в эти дни составляла $3000\text{--}8500 \text{ см}^{-3}$, что выше фоновых значений примерно в 20 раз [19, 20], концентрации CO достигали $7,7 \text{ млн}^{-1}$, а АОТ_{500} 3–5 [21].

По данным Красноярского филиала ФКУ НЦУКС МЧС РФ, в дни максимального задымления города на территории Томской области и прилегающих к ней областей насчитывалось свыше 100 очагов пожаров, а площадь горения составила 749 925 га.

Количественная оценка ослабления приходящей радиации дымной мглой

Как отмечалось выше, в июле 2012 г. в течение 20 дней город был окутан дымной мглой. Мы провели анализ ослабления приходящей суммарной и УФ-радиации в эти дни. Были получены эмпирические

Таблица 1

Характеристика периода дымной мглы в июне–июле 2012 г.

Период с дымной мглой			Среднее значение счетной концентрации аэрозоля $> 0,25 \text{ мкм}$ за сутки в дни с дымом ($N, \text{ см}^{-3}$)			Среднее значение CO , млн^{-1} , за сутки в дни с дымом		
месяц	даты	даты сильного задымления	min (дата)	max (дата)	среднее	min (дата)	max (дата)	среднее
VI	19, 25		500,4	4069,8	1571,8	0,314	5,028	1,236
VII	1, 3–7, 15–22, 24–29 (22 дня)	4, 6, 20, 25–28 (7 дней)	(16.VII)	(27.VII)		(16.VII)	(27.VII)	

Примечание. Дни с $\text{АОТ}_{500} > 1,3$ отнесены к сильному задымлению.

формулы зависимости приходящей радиации от высоты Солнца для дней с дымной мглой и при условии фонового уровня содержания аэрозоля:

$$Q, \text{ Вт/м}^2: Q = 709,63(\sin h)^{1,394}, R^2 = 0,866,$$

дымная мгла 2012 г.

$$Q_0 = 1256,8(\sin h)^{1,355}, R^2 = 0,96,$$

фоновый уровень аэрозоля.

$$УФ-B, \text{ Вт/м}^2: УФ-B = 0,9805(\sin h)^{1,699},$$

$$R^2 = 0,654, \text{ дымная мгла 2012 г.}$$

$$УФ-B_0 = 2,9426(\sin h)^{1,879}, R^2 = 0,985,$$

фоновый уровень аэрозоля,

где h – высота Солнца.

Средние значения приходящей радиации определены по эмпирическим формулам, полученным для фонового уровня содержания аэрозоля и периода мглы. Как и в работе [7], для количественной оценки ослабления радиации дымной мглой рассчитано отношение разности между значениями радиации при дымной мгле (f_h) и в ее отсутствие при фоновом уровне содержания аэрозоля к последней величине (f_0):

$$\Delta f = \frac{f_h - f_0}{f_0}.$$

Из табл. 2 видно, что для дней с дымной мглой ослабление суммарной солнечной радиации составило 44–47%. Потери в ультрафиолетовой области были значительно больше – от 55 до 65%. Для сравнения: по данным [7] в Москве во время дымной мглы в июле–августе 2010 г. среднее ослабление суммарной интегральной радиации составило 30–34%.

Для анализа характера ослабления солнечной радиации в зависимости от степени задымления были выбраны дни со слабым задымлением 15–18 июля ($AOT_{500} = 0,53 \div 0,63$) и дни с максимальным задымлением 25–27 июля ($AOT_{500} > 3$). Хотя количество данных выборки небольшое и наблюдается достаточно большой разброс значений, однако просматривается тенденция к увеличению ослабления суммарной (рис. 3, а) и ультрафиолетовой (рис. 3, б) радиации с увеличением концентрации дымового аэрозоля. При слабой задымленности потери суммарной радиации составляли 20–40%, а ультрафиолетовой – до 50%. В дни максимального задымления ослабление суммарной радиации достигало 70% и происходило практически полное ослабление УФ-B-радиации.

Таблица 2

Солнечная радиация при ясном небе (при фоновых концентрациях аэрозоля) и ее ослабление дымной мглой в июле 2012 г.

Параметр	Высота Солнца, град									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
<i>Суммарная интегральная радиация</i>										
$Q, \text{ Вт/м}^2$	117,27	201,37	293,77	391,29	491,39	591,84	690,62	785,87	875,90	959,16
$\Delta Q, \%$	-47,30	-46,50	-45,90	-45,40	-45,10	-44,80	-44,50	-44,30	-44,10	-44,00
<i>Ультрафиолетовая радиация</i>										
$УФ-B, \text{ Вт/м}^2$	0,11	0,23	0,40	0,59	0,81	1,05	1,30	1,55	1,80	2,04
$\Delta УФ-B, \%$	-54,80	-57,90	-60,00	-61,50	-62,60	-63,50	-64,30	-64,90	-65,40	-65,80

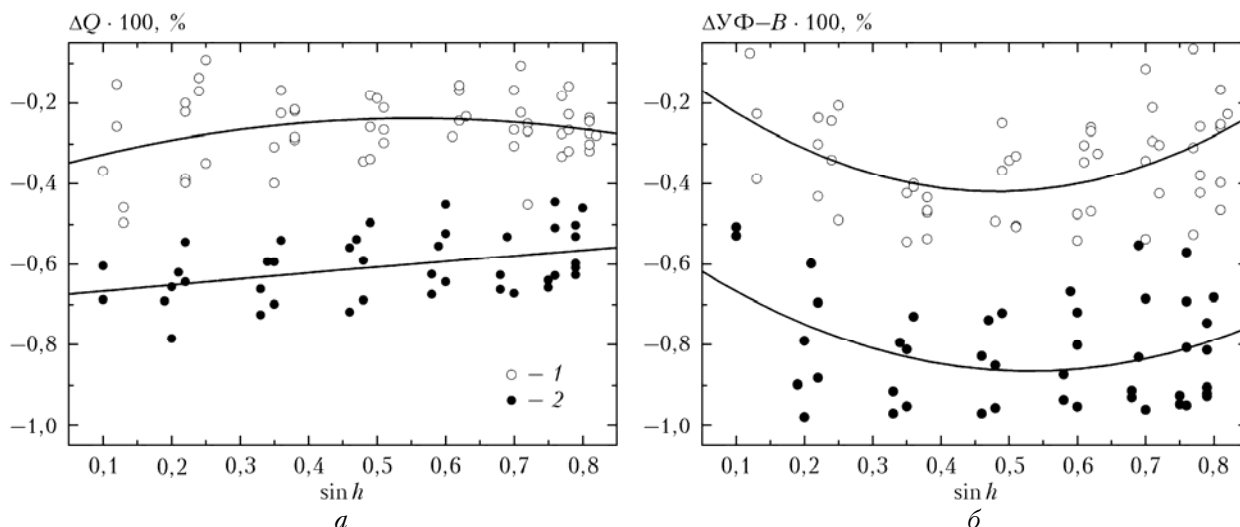


Рис. 3. Характер ослабления суммарной радиации (ΔQ) и $\Delta УФ-B$ -радиации ($\Delta УФ-B$) в зависимости от высоты Солнца и степени задымленности: 1 – $AOT_{500} = 0,53-0,63$; 2 – $AOT_{500} > 3$

В анализируемые дни с дымной мглой отмечены как межсуточные, так и внутрисуточные вариации ослабления исследуемых параметров. Степень ослабления менялась в зависимости от плотности задымления и высоты Солнца (см. рис. 3). В качестве примера на рис. 4, *а, б* показан суточный ход Q и УФ- B -радиации в дни слабого (18 июля), среднего (20 июля) и максимально сильного (26 июля) задымления, а также для условий фоновой уровня аэрозоля (Q_0 , УФ- B_0). На рис. 4, *в, г* хорошо видно, как изменяются исследуемые параметры в течение суток в зависимости от степени задымления. Ослабление УФ-радиации в середине дня 20 июля достигало 60%, а 26 июля наблюдалось практически полное ослабление.

Минимальное суточное поступление Q и УФ- B -радиации зарегистрировано 26 и 27 июля 2012 г. Согласно данным синоптических карт, эти дни характеризуются безоблачным небом. Мы сравнили результаты измерения в эти дни с данными в ясный день 25 июля 2010 г. Так, 26 июля потери суммарной радиации составили 57,4% и УФ- B -радиации 93,8%, а 27 июля 50 и 85% соответственно. Для сравнения в Москве летом 2010 г. в период самого сильного

задымления от пожаров максимальные потери солнечной радиации были зарегистрированы 7 августа между 11:00 и 14:00 и составили для суммарной коротковолновой радиации (300–4500 нм) 64%, УФ-радиации (300–380 нм) – 91% при $AOT_{500} = 6,4$ [6].

Используя данные измерений спектрофотометром Brewer MKIV № 049 в области ультрафиолетового спектра 290–325 нм, мы провели анализ спектрального изменения приземной УФ-радиации 26, 27 июля 2012 г. в Томске. На рис. 5 показан суточный ход интегральной УФ-радиации в диапазоне 290–320 и 290–325 нм в дни наибольшего задымления (26, 27 июля 2012 г.) и в ясный день (25 июля 2010 г.). Видно, что приземная УФ-радиация 26 июля 2012 г. значительно меньше, чем 27 июля 2012 г., а также наблюдаются существенные изменения приземной УФ-радиации за короткие промежутки времени. Проведен анализ степени ослабления УФ-радиации в спектральном диапазоне 295–325 нм в районе полудня. Для этого использованы данные измерений за 1 ч до и после полудня, которые сопоставлялись с данными измерений в эти же часы в ясный день 25.07.10 г. Из рис. 6, *а, б* видно, что 26 июля в районе полудня спектральное распределение интенсивности

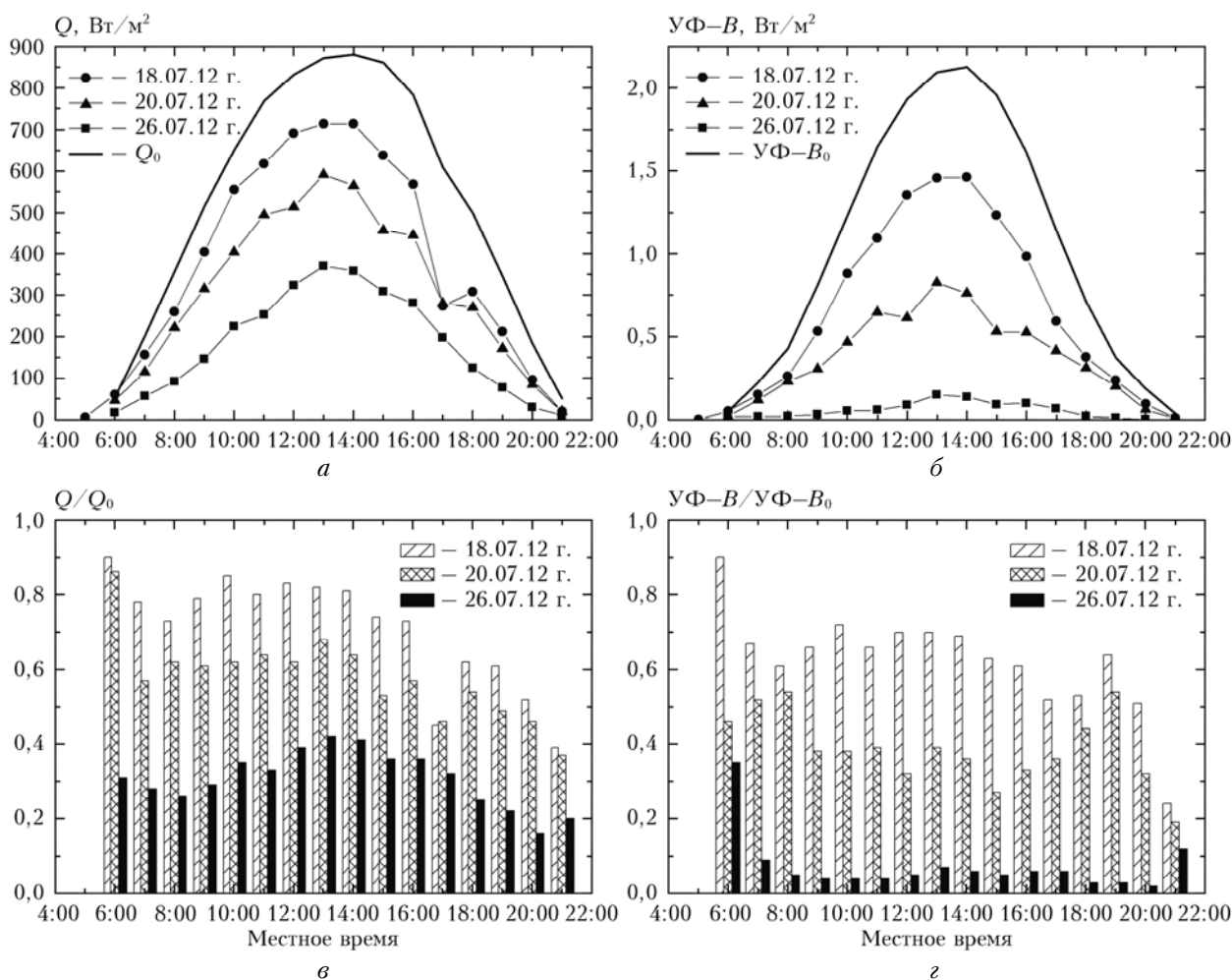


Рис. 4. Суточный ход суммарной и ультрафиолетовой радиации 18, 20 и 26 июля, а также для условий фоновой уровня аэрозоля (*а, б*) и изменение пропускания этих величин в течение суток (*в, г*)

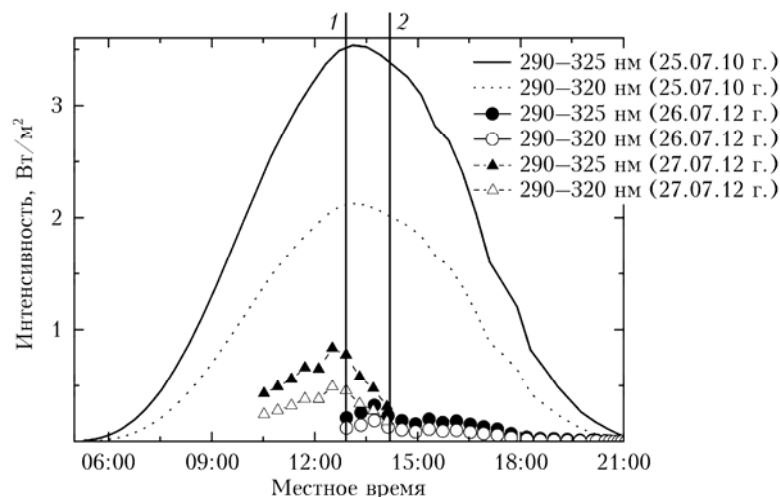


Рис. 5. Суточный ход интегральной УФ-радиации в ясный день 25.07.10 и дни максимального задымления 26.07.12 и 27.07.12 г.: 1 – дополуночные, 2 – послеполуночные измерения

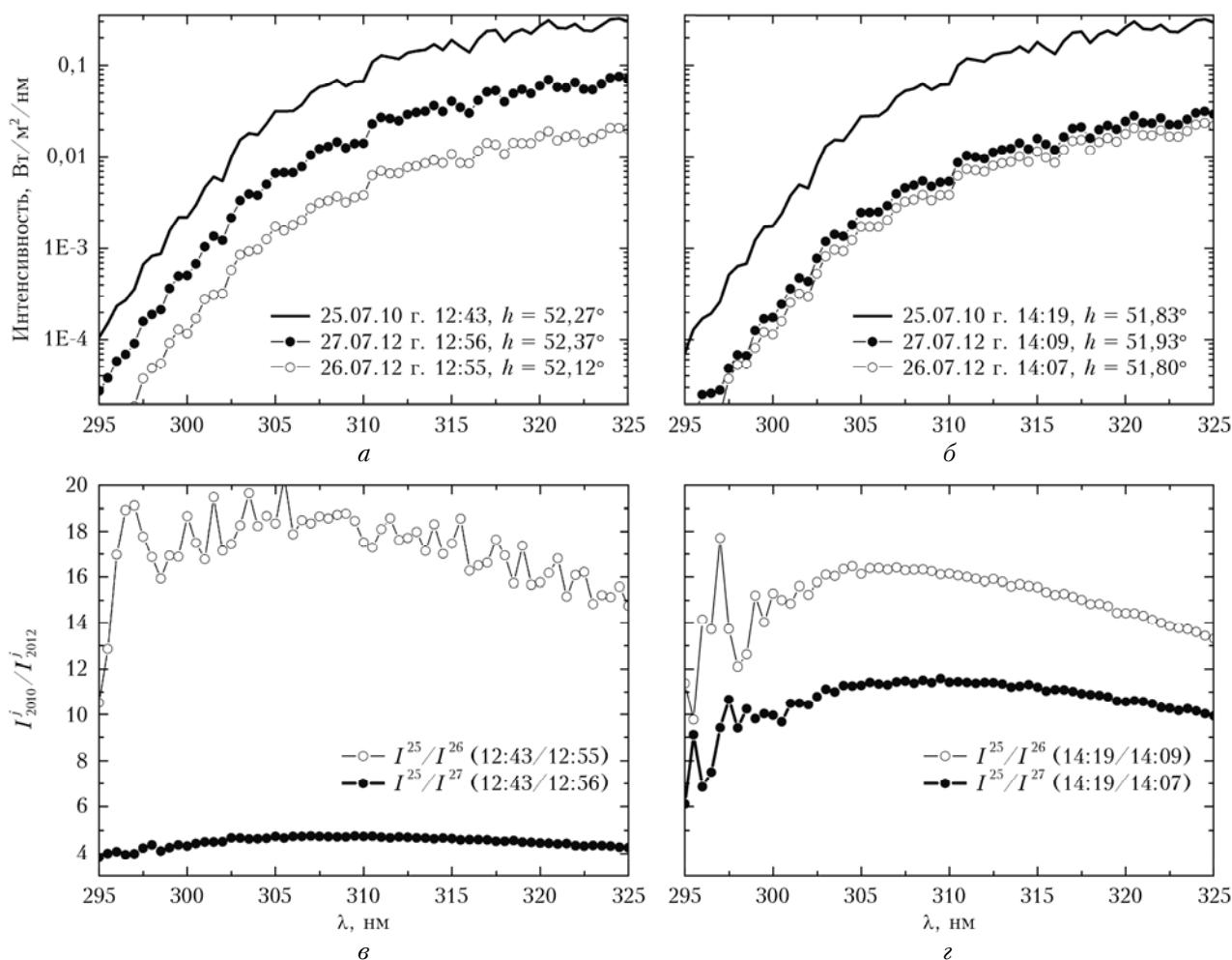


Рис. 6. Спектральное распределение интенсивности призмной УФ-радиации 26 и 27 июля 2012 г. в дополуночное (а) и послеполуночное (б) время при высоте Солнца, близкой к 52° , а также отношение к ясному дню 25 июля 2010 г. (в, г)

призмной радиации изменилось незначительно, а 27 июля в диапазоне 295–310 нм отмечено уменьшение приходящей радиации почти в 3 раза, в диапазоне 310–325 нм – в 2,5 раза.

Отметим, что 26 июля 2012 г. за 1 ч до полудня интенсивность призмной УФ-радиации уменьшилась в 16–20 раз в диапазоне 300–325 нм по сравнению с интенсивностью в ясный день 25.07.10 г. Спустя 1 ч

после полудня картина изменилась — существенное поглощение УФ-радиации произошло до 305 нм (в 12–16 раз) и далее по спектру наблюдался постепенный спад до 13 раз. В то же время 27 июля в первой половине дня по всему спектру I_{2010}^j / I_{2012}^j равнялось 4, а после полудня возросло примерно до 10 для $\lambda = 300\text{--}325$ нм (рис. 6, в, з).

Обсуждение результатов измерений

Пожары 2012 г. в России в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, послужившие источником дымной мглы в г. Томске, по своим масштабам и последствиям сопоставимы с крупнейшими лесными пожарами начала XXI в., случившимися на континентах Северного полушария: в США 2008 и 2009 гг. (Калифорния), Португалии 2005-й, Греции 2007 и 2009 гг., в России 2003 (Восточная Сибирь) и 2010 гг. (Центральная Россия и Поволжье, Дагестан). В связи с этим представляется необходимым по возможности провести сравнение воздействия данных пожаров на радиационный режим в этих районах.

Так, например, в мае 2003 г. на территории Сибири (между реками Амуром и Леной к востоку от оз. Байкал) наблюдались обширные лесные пожары. В атмосферу было выброшено большое количество аэрозольных частиц и газов, что оказало неблагоприятное воздействие на качество воздуха и радиационный баланс не только на районы страны, прилегающие к источникам возгорания. Дымовой шлейф от лесных пожаров через Монголию и Восточный Китай доходил до Корейского полуострова. В работе [22] анализируется влияние дымового аэрозоля на характеристики атмосферы над Кореей. Значения АОТ на длине волны 550 нм 20 мая 2003 г. превышали 4,0. Как следствие, было отмечено уменьшение видимого солнечного излучения до 57%. Этот случай показывает, сколь значительное ослабление приходящего солнечного излучения может быть зафиксировано на большом удалении от обширных лесных пожаров.

В конце августа 2009 г. обширные очаги пожаров наблюдались на северо-восточной окраине Афин. В работе [23] рассмотрено влияние пожара на качество воздуха Афин и уровень приземной радиации. Показано, что шлейф дыма над городом поднимался до высот 2–4 км, АОТ достигала 6 в УФ-диапазоне, а ослабление УФ-радиации — до 70%. Показано, что ослабление УФ-В-излучения (311 нм) более сильное, чем УФ-А (368 нм).

Приведенные нами ранее данные о состоянии радиационного режима в Москве в период летних лесных пожаров 2010 г. [6, 7] показывают, что среднее ослабление суммарной солнечной радиации составляло 30–34%, тогда как в Томске в течение 20 июльских дней оно достигало 44–47%, а для УФ-В-радиации превышало 60%. Разовые максимальные значения по ослаблению суммарной коротковолновой радиации (300–4500 нм) в Москве достигали 64%, а в Томске 57,4% в диапазоне 300–2400 нм. Ослаб-

ление приходящей радиации в УФ-области спектра в Москве достигало 91% (300–380 нм), а в Томске 93,8% (280–320 нм). Таким образом, несмотря на то что разовые значения ослабления приходящей радиации в Москве были выше, средние значения ослабления, наоборот, были выше в Томске.

В череде крупных лесных пожаров начала XXI в. пожары в Западной Сибири в 2012 г. оказались одними из самых мощных по воздействию на прилегающие крупные населенные пункты в плане ослабления приходящей солнечной радиации.

Нами было проведено сравнение месячного поступления солнечной радиации в июле 2012 г. с многолетним средним поступлением за период 1995–2011 гг. для суммарной радиации и 2003–2011 гг. для УФ-В-радиации.

Радиационный режим Томска в июле 2012 г. имел следующие особенности:

- месячное поступление суммарной солнечной радиации было ниже нормы (1995–2011 гг.) на 7%, а приземной УФ-В-радиации — на 26%;

- доля УФ-В-радиации в суммарной радиации не превышала 0,17%, тогда как в период с 2003 по 2011 г. на ее долю приходилось 0,20–0,26%;

- значения суточных сумм суммарной радиации колебались в диапазоне 4,86–24,89 МДж/м², а суточные суммы ультрафиолетовой радиации от $0,27 \cdot 10^4$ до $5,27 \cdot 10^4$ Дж/м².

Учитывая тот факт, что основной причиной уменьшения приходящей к поверхности Земли солнечной радиации в условиях дымной мглы в июле 2012 г. в Томске является рост количества находящегося в пограничном слое атмосферы аэрозоля, мы проанализировали изменение количества частиц в зависимости от их размера. На рис. 7 представлены типичное среднее объемное распределение аэрозоля для июля в «фоновых городских» условиях (т.е. в дни с типичным уровнем содержания аэрозоля для г. Томска) и распределение, построенное путем усреднения всех разовых измерений за 20 дней дымной мглы. На рис. 7, а по форме кривой 1 мы можем увидеть аккумуляционную моду и моду грубых частиц (грудисперсная фракция аэрозоля) и их соотношение, характерное для городских условий без присутствия явно выраженных источников загрязнения. Согласно [24] в аккумуляционной моде городского аэрозоля представлены частицы следующего происхождения: сульфаты, нитраты, аммониты, сажа и другие микропримеси, а мода грубых частиц состоит в основном из кристаллического вещества (кремниевые компоненты, железо, алюминий), морского аэрозоля и пылицы.

Делая предположение, что единственным дополнительным источником аэрозоля в приземном слое атмосферы в Томске стали продукты сгорания растительности лесных массивов, расположенных в непосредственной близости от Томска, мы можем оценить прирост частиц по всему спектру размеров, измеряемых приборами (рис. 7, б). Из рис. 7, а видно, как в дни максимального задымления (26 и 27 июля) изменилось спектральное распределение аэрозоля.

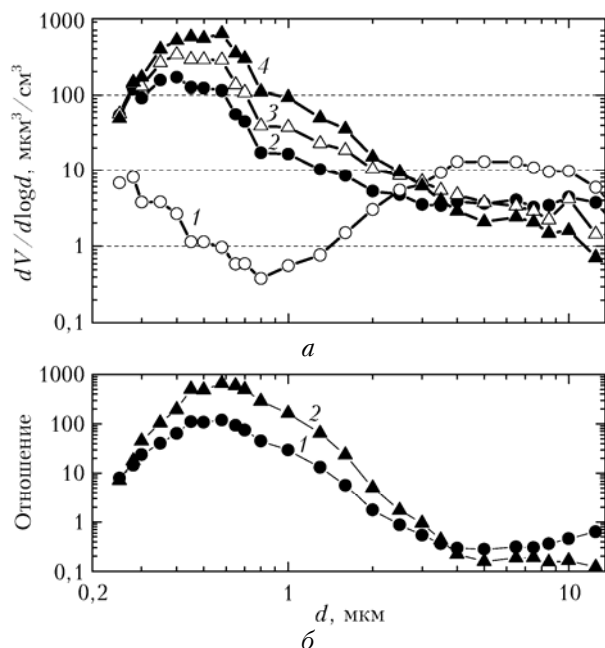


Рис. 7. Среднее объемное распределение аэрозоля по размерам (а): 1 – условия «фоновое городское» уровня содержания аэрозоля; дымная мгла: 2 – июль 2012 г., 3 – 26 июля 2012 г., 4 – 27 июля 2012 г. Отношение среднего объемного распределения аэрозоля по размерам к условиям «фоновое городское» уровня содержания аэрозоля (б): 1 – дымная мгла (июль 2012 г.), 2 – 27 июля 2012 г.

Максимум аккумуляционной моды в условиях дымной мглы (особенно 27 июля) сдвинулся в сторону более крупных частиц, мода грубых частиц фактически исчезла, при этом характерный для городских условий провал между этими двумя модами в районе 0,8–1 мкм исчез.

Мы считаем, что данное спектральное распределение в первую очередь объясняется близостью измерительной площадки в г. Томске к лесным пожарам (основному источнику аэрозоля) и высокой скоростью коагуляции, вызванной выросшей на порядок концентрацией аэрозоля и повышенной температурой внутри дымовой мглы. Выраженное отсутствие (количество частиц меньше, чем при нормальных «фоновых городских» условиях) моды грубых частиц можно объяснить комбинацией ряда факторов: близостью источника аэрозоля к месту измерения, нахождением измерительной станции в шлейфе лесных пожаров, синоптическими условиями в районе измерений (малоградиентное поле и приземная скорость ветра менее 1,5 м/с). Все это в совокупности (когда в районе 0,5 мкм в среднем в условиях дымной мглы количество частиц выросло на 2 порядка, а 27 июля почти на 3 порядка по сравнению с нормальными условиями) привело к значительному ослаблению приходящей солнечной радиации.

Несмотря на то что самый «грязный» день в приземном слое по концентрациям оксида углерода и аэрозоля наблюдался 27 июля (см. рис. 2), минимальный приход УФ-радиации был зарегистрирован 26 июля. Из рис. 1 видно, что вертикальное распространение аэрозоля от лесных пожаров в Красноярском крае

превышает несколько километров. В Томске 26 и 27 июля измерения счетной концентрации проводились только в приземном слое, и поэтому трудно судить о том, как распространялась дымная мгла в пограничном слое атмосферы в районе Томска. Так как преобладающее направление ветра в приземном слое 26 июля не совпадало с направлением ветра 27 июля, то это могло привести к разной степени вертикальной задымленности в районе измерения и различной геометрии дымового шлейфа, что в свою очередь и определило минимальное количество приходящей солнечной радиации 26, а не 27 июля, когда в приземном слое отмечались максимальные концентрации аэрозоля.

Заключение

Анализ радиационного режима в условиях дымной мглы позволил сделать следующие выводы:

- наличие дымной мглы (при АОТ₅₀₀ от 0,53 до 4,2) приводит к уменьшению суммарной солнечной радиации в среднем на 45%, УФ-радиации – на 60–65%;

- степень ослабления приходящей солнечной радиации зависит как от плотности дымной мглы, так и от высоты Солнца над горизонтом, причем для суммарной и УФ-радиации отмечается различный характер ослабления в зависимости от высоты Солнца;

- в реальных городских условиях при неблагоприятной близости очагов пожара и их большой мощности степень ослабления суммарной и УФ-радиации зависит от степени задымления: при сильном задымлении ослабление суммарной радиации может достигать 70% и наблюдается практически полное ослабление УФ-радиации;

- изменчивость плотности дымной мглы за короткий промежуток времени максимально отражается на приходящей солнечной радиации в коротковолновой области спектра;

- рост приземных концентраций дымового аэрозоля, источником которого являются лесные пожары, не всегда приводит к увеличению ослабления приходящей солнечной радиации.

Авторы выражают благодарность сотрудникам сети AERONET и особенно группе исследователей под руководством С.М. Сакерина в г. Томске за предоставленные исходные данные АОТ на $\lambda = 500$ нм в летний период 2012 г.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, 70 и 131, грантов РФФИ № 14-05-00526, 14-05-00590, 14-05-93108, госконтрактов Минобрнауки № 14.604.21.0100, идентификационный номер RFMTFIBBB210290; № 14.613.21.0013, идентификационный номер RFMEFI61314X0013.

1. Природные пожары и аномальная жара в Российской Федерации. Медико-санитарные рекомендации. Европейское региональное бюро Всемирной организации здравоохранения. 2010. 19 с. URL: www.euro.who.int/_data/assets/.../Sitrep_19August_RUS_wildfires.pdf
2. Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Семутникова Е.Г., Холбен Б.Н., Смирнов А.В., Емиленко А.С., Исаков А.А.,

- Копейкин В.М., Карпов А.В., Лезина Е.А., Задорожная О.С.* Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля задымленной атмосферы Московского региона в 2010 году // Докл. РАН. 2011. Т. 437, № 5. С. 686–690.
3. *Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Исаков А.А., Копейкин В.М., Карпов А.В., Курбатов Г.А., Лезина Е.А., Пономарева Т.Я., Соколов А.В.* Московская дымная мгла 2010 г. Экстремальное аэрозольное и газовое загрязнение воздушного бассейна Московского региона // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 6. С. 452–458.
 4. *Горчаков Г.И., Мохов И.И.* Радиационный и температурный эффекты дымового аэрозоля в Московском регионе в период летних пожаров 2010 года // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2012. Т. 48, № 5. С. 1–8.
 5. *Чубарова Н.Е., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловцева О.А.* Аэрозольные и радиационные характеристики атмосферы во время лесных и торфяных пожаров в 1972, 2002 и 2010 гг. в Подмоскovie по данным Метеорологической обсерватории МГУ // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2011. Т. 47, № 6. С. 790–800.
 6. *Chubarova N., Nezval Ye., Sviridenkov M., Smirnov A., Slutsker I.* Smoke aerosol and its radiative effects during extreme fire event over Central Russia in summer 2010 // Atmos. Measur. Technol. 2012. V. 5, N 3. P. 557–568.
 7. *Шиловцева О.А.* Световой режим Москвы в условиях дымной мглы // Метеорол. и гидрол. 2014. № 4. С. 5–16.
 8. *Бизин М.А., Попова С.А., Чанкина О.В., Макаров В.И., Шинкоренко М.П., Смоляков Б.С., Куценогий К.П.* Влияние лесных пожаров на массовую концентрацию, дисперсный и химический состав атмосферного аэрозоля в региональном масштабе // Оптика атмосфер. и океана. 2013. Т. 26, № 6. С. 484–489.
 9. *Kozlov V.S., Yausheva E.P., Terpigova S.A., Panchenko M.V., Chernov D.G., Shmargunov V.P.* Optical-microphysical properties of smoke haze from Siberian forest fires in summer 2012 // Int. J. Remote Sens. 2014. V. 35, N 15. P. 5722–5741.
 10. *Скляднева Т.К., Ивлев Г.А.* Ослабление суммарной и ультрафиолетовой радиации в дымах лесных пожаров в Томске // Мат-лы XIX Междунар. симпоз. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск: ИОА СО РАН, 2013. С. D345–D348.
 11. *Бедарева Т.В., Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Насртдинов И.М., Сакерин С.М., Турчинович Ю.С.* Аэрозольные характеристики дымовой мглы летом 2012 года в Сибири // Тезисы X Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу. Томск: Аграф-Пресс, 2013. С. 23–24.
 12. *Насртдинов И.М., Бедарева Т.В., Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Турчинович Ю.С.* Радиационный форсинг аэрозоля в условиях дымов лесных пожаров 2012 г. в Сибирском регионе // Тезисы X Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу. Томск: Аграф-Пресс, 2013. С. 104–105.
 13. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Покровский Е.В., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н.* Автоматический пост для мониторинга малых газовых составляющих атмосферного воздуха // Метеорол. и гидрол. 1999. № 3. С. 110–118.
 14. *Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Скляднева Т.К.* Многолетний мониторинг суммарной и ультрафиолетовой (В) радиации в районе г. Томска // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 1. С. 61–65.
 15. *Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Скляднева Т.К.* Влияние города на приходящую ультрафиолетовую радиацию по результатам многолетнего мониторинга в районе Томска // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 12. С. 1113–1119.
 16. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В.* Посты для мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу газов // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20, № 1. С. 53–61.
 17. *Рассказчикова Т.М., Скляднева Т.К., Аршинова В.Г.* Синоптическая база Томска: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620769. 1 июля 2013.
 18. *Сакерин С.М., Береснев С.А., Горда С.Ю., Кабанов Д.М., Корниенко Г.И., Маркелов Ю.И., Михалев А.В., Николашкин С.В., Панченко М.В., Поддубный В.А., Полькин В.В., Смирнов А., Тацлин М.А., Турчинович С.А., Турчинович Ю.С., Холбен Б., Еремина Т.А.* Характеристики годового хода спектральной аэрозольной оптической толщи атмосферы в условиях Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 566–574.
 19. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н.* Многолетняя изменчивость тропосферного аэрозоля над Западной Сибирью // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13, № 6–7. С. 627–630.
 20. *Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Белан С.Б., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н.* Многолетняя изменчивость озона и аэрозоля в районе Томска и оправданность прогноза их среднегодовых концентраций на десятилетие // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 9. С. 772–776.
 21. *Sakerin S.M., Bedareva T.V., Zhuravleva T.B., Kabanov D.M., Nasrtdinov I.M., Turchinovich Yu.S.* Aerosol radiative characteristics during smoke mist in Siberia // Proc. Int. sympos. «Atmospheric Radiation and Dynamics» (ISARD-2013). Saint-Petersburg, 2013. P. 67.
 22. *Kwon H.Lee, Jeong E.Kim, Young J.Kim, Jhoon Kim, von Hoyningen-Huene W.* Impact of the smoke aerosol from Russian forest fires on the atmospheric environment over Korea during May 2003 // Atmos. Environ. 2005. V. 39, N 1. P. 85–99.
 23. *Amiridis V., Zerefos C., Kazadzis S., Gerasopoulos E., Eleftheratos K., Vrekoussis M., Stohl A., Mamouri R.E., Kokkalis P., Papayannis A., Eleftheriadis K., Diapouli E., Keramitsoglou I., Kontoes C., Kotroni V., Lagouvardos K., Marinou E., Giannakaki E., Kostopoulou E., Giannakopoulos C., Richter A., Burrows J.P., Mihaloopoulos N.* Impact of the 2009 Attica wild fires on the air quality in urban Athens // Atmos. Environ. 2012. V. 46. P. 536–544.
 24. *Aerosol measurement: Principles, techniques and applications* / Ed. by P.A. Baron, K. Willeke. New York: John Wiley & Sons, 2001. 1131 p.

T.K. Sklyadneva, G.A. Ivlev, B.D. Belan, M.Yu. Arshinov, D.V. Simonenkov. **The radiation regime of Tomsk in conditions of a smoky haze.**

The results of the analysis of the radiation regime of Tomsk during the period of smoky haze from forest fires in Siberian region in July 2012 are presented. It is shown that in the presence of a smoky haze the total solar radiation is weakened by 45% on the average, and ultraviolet radiation, by 60–65% in comparison with similar periods with the typical background aerosol level. Parameters of smoky haze aerosol influencing the solar radiation absorption are determined. At strong smoke, the weakening of total radiation reached 70% and almost full weakening of UV radiation was observed.

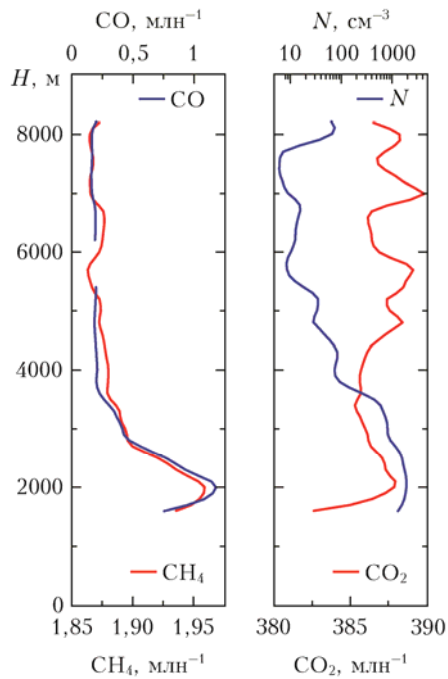


Рис. 1. Высотные профили атмосферного содержания CO, CO₂, CH₄ и счетной концентрации аэрозоля N ($0,25 < d < 32 \mu\text{км}$) в районе Артёмовска Красноярского края (01.08.2012 г.)

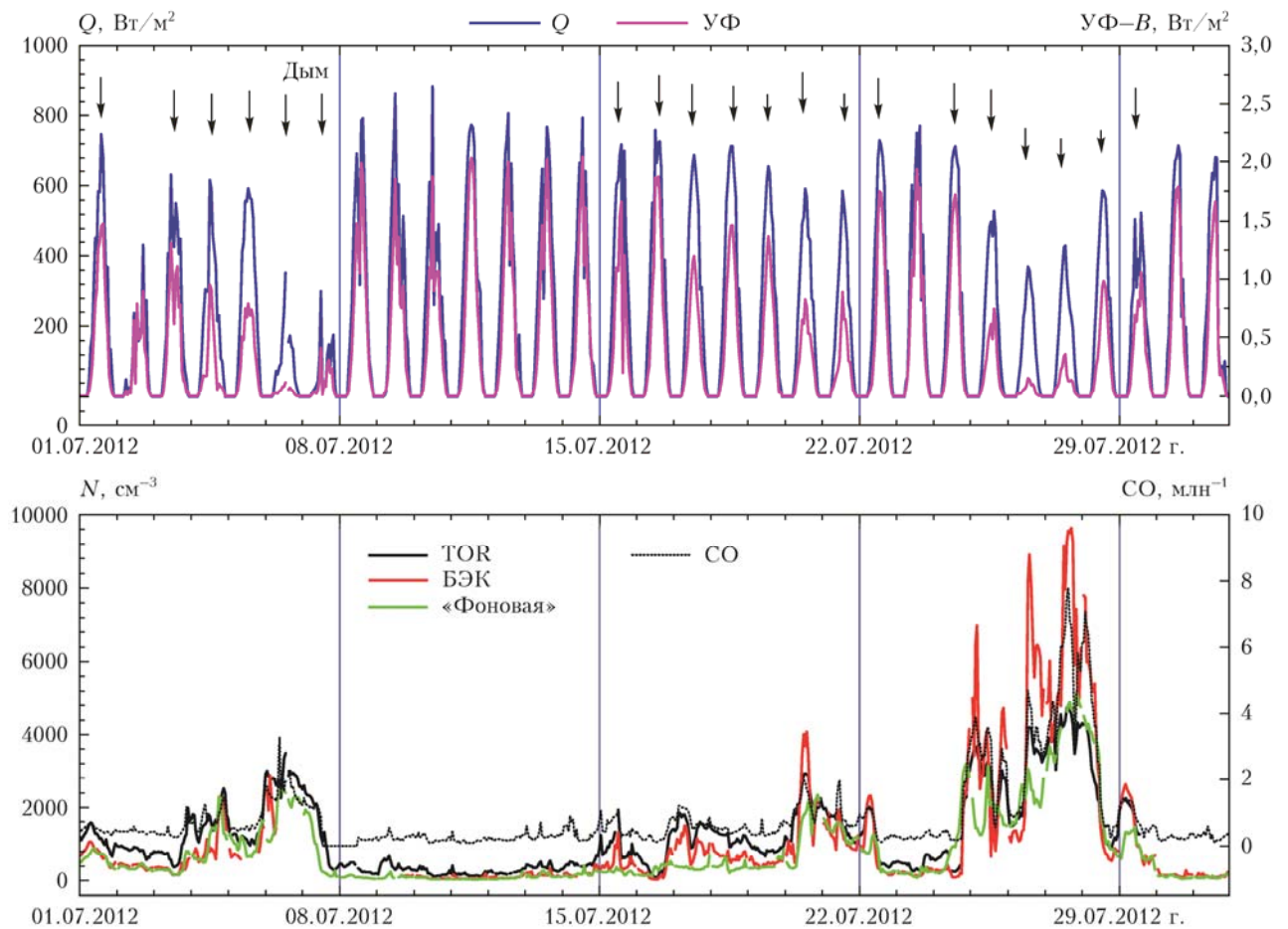


Рис. 2. Временной ход суммарной, ультрафиолетовой радиации и CO в Томске, а также счетной концентрации аэрозоля N в трех пунктах измерения: на TOR-станции, БЭКе, обсерватории «Фоновая»