

ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД, ТЕМПЕРАТУРА И РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ В РАЙОНЕ СТАНЦИИ ТИКСИ (ЯКУТИЯ)

A.A. Виноградова¹, Т.Б. Титкова²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук, г. Москва

²Институт географии Российской академии наук, г. Москва

anvinograd@yandex.ru, ttitkova@yandex.ru

Аннотация. Анализируются данные измерений концентрации черного углерода (ВС – black carbon) в 2012–14 годах в приземном воздухе в районе арктической Международной обсерватории Тикси (Tiksi), расположенной вблизи дельты реки Лена. Выявлены вариации концентрации ВС разных масштабов и разной длительности. Показано, что аномальные максимумы концентрации ВС (выше 1000 нг/м³) встречаются редко, преимущественно в теплое время года (май–сентябрь), продолжительность их не превышает двух суток. Во время наиболее длительных эпизодов аномально повышенной концентрации ВС значительно изменяется температура приземного воздуха и радиационный баланс на нижней границе атмосферы. Превышение средней температуры приземного воздуха во время наиболее длительных эпизодов высокой концентрации ВС по сравнению с днями вне этих эпизодов (в пределах месяца) может достигать 10 градусов (при средней климатической температуре июля около 10°C). Поправки к температуре воздуха, вносимые за счет изменения дымовым аэрозолем атмосферных радиационных процессов, могут быть вполне сопоставимы с поправками за счет адвекции тепла при переносе воздуха из районов пожаров.

Ключевые слова: атмосфера, Арктика, Тикси, черный углерод, радиационный баланс, температура воздуха

Введение

Климатические изменения, происходящие на планете в XXI веке, наиболее ярко проявляются в Арктике [1], при этом климат арктического региона заметно влияет на климат всего Северного полушария [2]. Черный углерод, являющийся климатически значимой примесью в атмосфере, выбрасывается в воздух при неполном сгорании углеродсодержащих веществ на поверхности планеты, его источники – промышленные предприятия, транспорт, бытовое оборудование, факелы сжигания попутного газа при нефте- и газодобыче, а также травяные и лесные пожары природного/антропогенного происхождения. Непосредственно с поглощением солнечного излучения связан прямой радиационный эффект черного углерода (ВС – black carbon) в атмосфере (фактически – ее нагрев), в то время как некоторые другие свойства частиц углерода (например, его гигроскопичность) приводят к проявлению вторичных радиационных эффектов, обусловленных ростом и кластеризацией аэрозольных частиц, образованием капель и облаков.

Измерения концентрации ВС в приземном воздухе проводятся более или менее регулярно лишь в некоторых пунктах Евразии – как в Арктике [3–6], так и в более южных широтах [7–10]). Различные методики дают ряды данных с разным времененным разрешением (от 5 мин до 1 недели). Результаты мониторинга используются для оценки как среднего уровня содержания ВС в атмосфере и пространственных полей его источников, так и различных

климатических эффектов, связанных с наличием ВС в атмосфере.

Российская Арктика, охватывающая огромную территорию, слабо обеспечена станциями, осуществляющими регулярный мониторинг состава и состояния окружающей среды. В связи с этим, наблюдения, которые проводятся в международной обсерватории Тикси [3, 4], дают уникальную информацию о составе атмосферы и ее параметрах. В частности, с 2010 года там круглогодично измеряется концентрация ВС в приземном воздухе параллельно с мониторингом оптических и микрофизических параметров атмосферы [3, 11, 12] в рамках системы AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>), одной из платформ которой является станция Тикси. Такое сочетание наблюдаемых характеристик дает редкую возможность для моделирования и оценки радиационных эффектов в атмосфере данного района, для уточнения значений целого ряда показателей атмосферы, связанных с наличием в воздухе ВС и дымового аэрозоля.

В данной работе проводится сопоставление результатов измерения концентрации ВС и некоторых климатических параметров атмосферы в районе ст. Тикси. Анализируются температура воздуха и радиационный баланс во время эпизодов аномально высокого содержания ВС в приземной атмосфере.

Исходные данные и сопутствующая информация

Метеостанция Тикси расположена вблизи п.г.т. Тикси (Якутия) в районе впадения р. Лена в м. Лаптевых, координаты современной станции 71,6°с.ш., 128,9°в.д.

Концентрация ВС в приземном воздухе (далее – [ВС]) вблизи метеостанции измеряется непрерывно и фиксируется каждые 5 минут аэталометром Rack Mount Chassis фирмы Magee Scientific (<https://supplyfx.com/company/12836-magee-scientific-corporation>). Данные этих измерений приведены на сайте <ftp://ftp1.esrl.noaa.gov/psd3/arctic/tiksi/aerosol/aethalometer>. В нашей работе в анализ включены три года измерений – 2012–2014 в светлое (для Тикси) время года – 5 месяцев (март–сентябрь). Для некоторых противопоставлений используются данные за январь тех же лет.

Для анализа использованы значения температуры воздуха и потоков нисходящей и уходящей дли-

новолной и коротковолновой радиации, измеренные на уровне 2 м от поверхности с интервалом 1 час, приведенные на сайте (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/iasoa/stations/tiksi>).

Концентрация ВС в приземном воздухе

Типичные временные развертки измеренной [ВС] (рис. 1) представляют собой более или менее постоянную (для каждого месяца) величину, которую заметно превышают отдельные кратковременные пики, когда значения [ВС] в максимумах в 50–100 раз и более превышают величину медианы за соответствующий месяц (табл. 1).

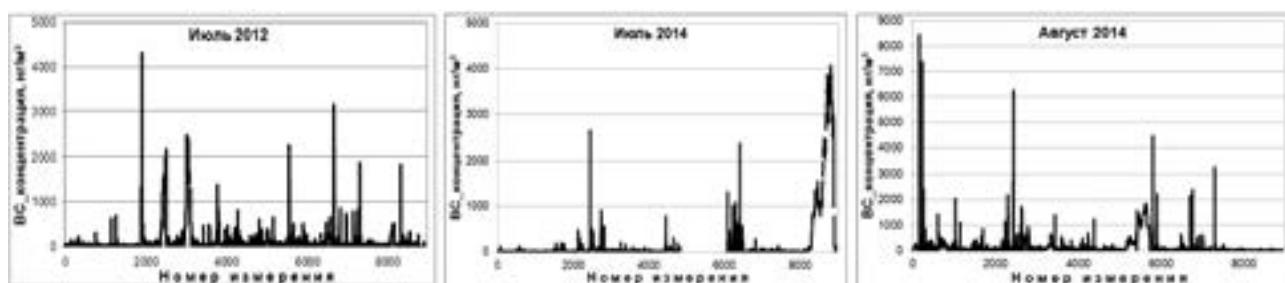


Рис. 1. Концентрация ВС (нг/м³) в приземном воздухе на ст. Тикси – измерения, развертки во времени за месяц: июль 2012, июль 2014 и август 2014 годов.

Периоды с максимальными концентрациями ВС (>1000 нг/м³), которые будем далее называть «эпизодами», распределены неравномерно по месяцам и внутри них, однако более часто эпизоды встреча-

ются в летние месяцы, сильно различаясь также по длительности (табл.1). Оптические и микрофизические характеристики атмосферы во время эпизодов меняются очень сильно [3].

Таблица 1
Статистические показатели (за 3 года) исходных данных о концентрации ВС в приземном воздухе в Тикси – для 6 месяцев. «Эпизод» – временной отрезок, когда концентрация ВС держится выше 1000 нг/м³

Месяц	Концентрация ВС, нг/м ³			Количество «эпизодов» разной длительности		
	Средняя	Медиана	Максимум	< 1 часа	1–12 часов	> 12 часов
янв	202	162	7473	2	1	0
май	72	44	13704	7	1	0
июн	54	15	4588	7	5	0
июл	99	15	7882	21	2	3
авг	84	19	10651	42	4	1
сен	45	12	14835	5	2	0

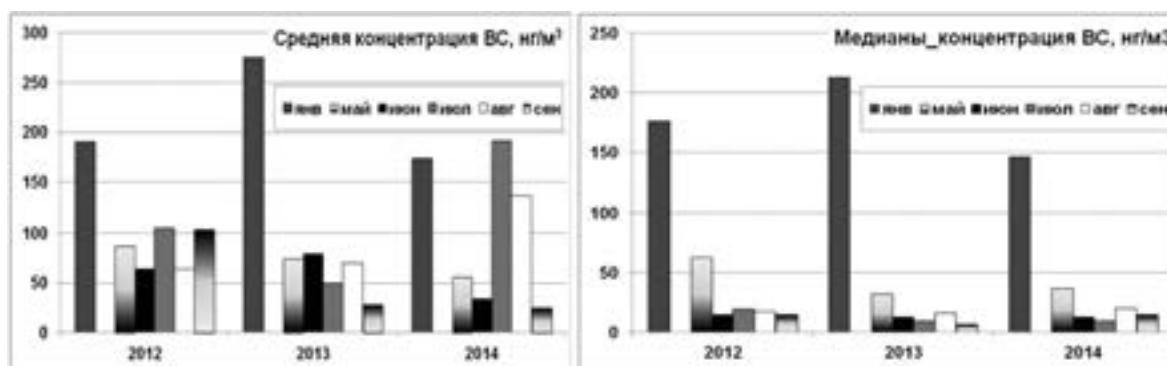


Рис. 2. Концентрация ВС в приземном воздухе в Тикси: средние и медианные значения по месяцам, нг/м³.

На рис. 2 показаны вариации среднего и медианного (за месяц) значений [ВС] в Тикси – для января и пяти теплых месяцев (май–сентябрь). В январе [ВС] выше, чем в теплое время года, поскольку, за счет того, что скорость осаждения примеси над заснеженной поверхностью значительно ниже, чем над травяными и лесными территориями [14], примесь переносится на большие расстояния и большее число источников ВС может влиять на загрязнение изучаемого района.

Июль и август 2014 года (рис. 2) выделяются высокими средними значениями [ВС], что обусловлено наличием аномально высоких значений [ВС] (табл. 1), вполне сравнимых с концентрациями ВС в городах [8, 9, 15] и вблизи пожаров [16]. Заметим, что в отношении медианных величин [ВС] эти месяцы ничем не выделяются. При таких редких эпизодах аномально высоких значений [ВС] ($1-10 \text{ мкг}/\text{м}^3$) средняя (за месяц) величина не описывает никакой реальной ситуации, а наиболее часто встречающиеся условия примерно соответствуют медианному значению [ВС] в воздухе.

Наиболее длинные эпизоды высокой [ВС] зарегистрированы в июле 2012 года (два эпизода 9 и 11 июля – каждый длительностью чуть менее суток), а также в июле и в августе 2014 года (30–31 июля и 19–20 августа, длительность каждого 1,5–2 суток) – рис. 1. Рассматривая два эпизода 2012 года, следующие один за другим с интервалом в сутки, как один, далее будем говорить о трёх месяцах и зарегистрированных в них трёх эпизодах высокой концентрации ВС.

Длительность каждого эпизода тем больше, чем больше площадь источника ВС и чем устойчивее атмосферные условия переноса воздуха к пункту наблюдений. Поэтому пожары (мощные источники ВС значительной площади) должны давать самые большие интегральные вклады черного углерода в атмосферу в районе Тикси, где нет близких крупных «точечных» источников антропогенного ВС (городов, факелов нефте- и газодобывающих установок и т.д.) [17]. Сопоставление эпизодов с результатами траекторного анализа путей дальнего переноса воздушных масс и с пространственным распределением эмиссий ВС в атмосферу для рассматриваемых месяцев (по спутниковым данным GFED) позволяет идентифицировать положение источников ВС в рассматриваемых эпизодах [18].

Отклики в температуре и радиационных потоках

Для тех же трех эпизодов рассмотрим более подробно данные наблюдений за приземной температурой воздуха и потоками падающей и уходящей коротковолновой и длинноволновой радиации

в приземной атмосфере. Понятно, что радиационные эффекты, связанные с наличием ВС в атмосфере, тем значительнее (дольше, мощнее и т.д.), чем длиннее эпизод и выше [ВС] в приземном воздухе, а также чем интенсивнее солнечное излучение. Следовательно, из-за внутрисуточных и внутригодовых изменений инсоляции важно, в какое именно время суток образуется повышенная [ВС] в воздухе и в каком месяце это происходит. Радиационные процессы формирует вся атмосфера, поэтому более корректно учитывать информацию о вертикальном распределении ВС в атмосфере. В данной работе рассматривается только приземный слой атмосферы, можно считать, что его параметры характеризуют нижнюю границу атмосферы (НГА). В одной и той же точке наблюдений временные вариации радиационных параметров приземного воздуха определяются углом наклона Солнца, а также состоянием атмосферы (облачность, влажность, оптические параметры) и самой поверхности (альбедо), отражающей излучение. Кроме того, температура воздуха зависит от адвективных потоков тепла, т.е. от температуры воздушных масс, приносимых к пункту наблюдений.

Табл. 2 и рис. 3, 4 позволяют сопоставить некоторые характеристики приземной температуры воздуха (T) и радиационного баланса (RB) на НГА за рассматриваемые три месяца с эпизодами высокой [ВС].

По рис. 3 хорошо видно, что интегральный (за 5 месяцев) нагрев приземного слоя атмосферы был максимален в 2012 году (с максимумом среднемесячной T в июле), что может быть связано с глобальными особенностями чрезвычайно жаркого лета этого года в Сибири и на Дальнем Востоке [19], обусловившими мощные пожары на этой территории. Абсолютный максимум (за рассматриваемые месяцы) измеренной (с часовым интервалом) температуры ($25,6^\circ\text{C}$) приходится на август 2012 года. Наиболее холодным был летний сезон 2013 года. Каждый месяц максимальные значения среднесуточной T превышают соответствующие средние значения примерно на два стандартных отклонения. За 15 рассмотренных месяцев средняя разница между T дневного и ночного времени суток составляла $(2,2 \pm 0,4)^\circ\text{C}$, где разброс величины представлен стандартным отклонением этой разницы от среднего значения.

Расчет RB на НГА осуществлялся по измеренным потокам падающего (F^\downarrow) и уходящего (F^\uparrow) излучения: $RB = F^\downarrow - F^\uparrow$ отдельно для коротковолновой (SW) и длинноволновой (LW) части спектра и в сумме. Именно эта энергия идет на нагрев (при отрицательных значениях – на охлаждение) самого нижнего слоя воздуха и поверхности.

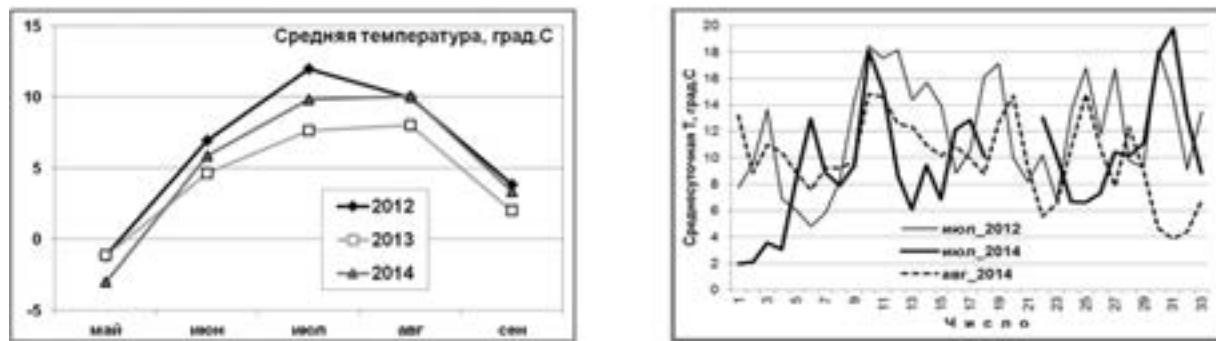


Рис. 3. Временные вариации в приземном воздухе: средняя температура Т (слева); среднесуточная температура в течение месяцев с тремя рассматриваемыми эпизодами (справа).

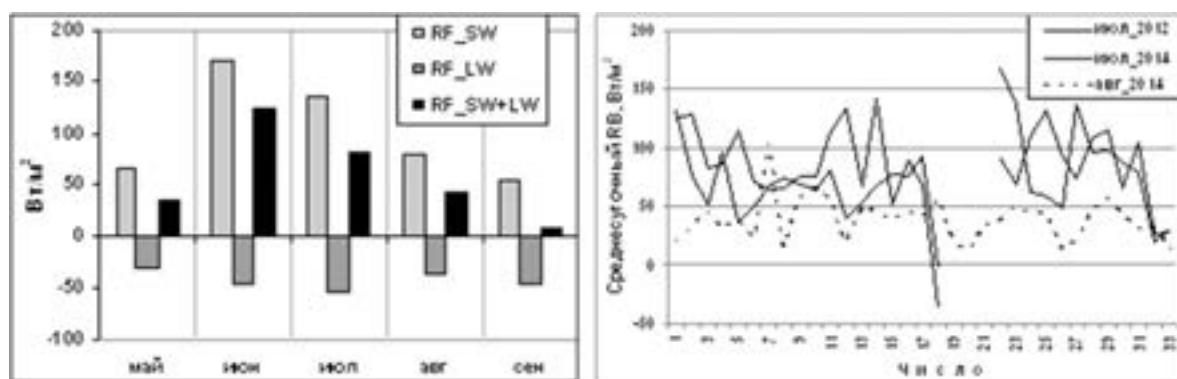


Рис. 4. Временные вариации в приземном воздухе: средний (за три года) RB коротковолновой (SW), длинноволновой (LW) и суммарной радиации в теплые месяцы (слева); среднесуточный суммарный RB в течение месяцев трех рассматриваемых эпизодов (справа).

В годовом ходе максимум среднего значения RB за месяц всегда приходится на июнь (рис. 4). В арктических широтах в рассматриваемые месяцы уходящая LW радиация уносит значительную долю (от 20 до 45 %) энергии от поверхности, уменьшая RB на НГА. Но суммарный баланс остается положительным.

Внутри каждого месяца колебания среднесуточных значений Т и RB (рис. 3 и 4) не очень значительны, и эпизоды с повышенной [BC] не выделяются. Это свидетельствует о заметной роли других факторов, кроме концентрации BC, в формировании температурного и радиационных полей в приземном воздухе.

Сравнивая рассматриваемые эпизоды (табл. 2) со средними (за весь месяц) и условно фоновыми (средними за 29 дней вне эпизода) показателями, видно, что все три месяца отличаются друг от друга, хотя во всех эпизодах источниками BC были пожары на территории Сибири [18], и фоновые значения [BC] близки (табл. 2).

Самый мощный эпизод наблюдался в конце июля 2014 года (рис. 1), когда абсолютный максимум концентрации BC превысил месячную медиану в 100 с лишним раз, а средняя концентрация в эпизоде была выше фонового значения в 20 раз. При этом средняя [BC] превысила фоновое значение пример-

но вдвое. Два оставшихся эпизода (в августе 2014 и июле 2012 года) были слабее и довольно похожи между собой по показателям [BC]. Но не по показателям RB.

Радиационный баланс во время обоих июльских эпизодов был на 8 % выше фоновых уровней, а в августе 2014 года он оказался почти втрое ниже фона. Как результат – август 2014 года выделяется тем, что во время эпизода с повышенной [BC] RB характеризуется отрицательным превышением над фоновым уровнем, т.е. за счет радиационных процессов происходит выхолаживание НГА.

Однако и в августе 2014 года, как и в обоих июльских, температура воздуха во время эпизода была заметно выше фоновой (табл. 2). Отметим также, что наиболее сильный (из трех рассматриваемых) эпизод в июле 2014 года ярко проявился в максимальном превышении приземной температуры над фоновым и средним уровнями (примерно на 9–10 градусов). Очень соблазнительно назвать это оценкой прямого радиационного эффекта от наличия в воздухе дымового аэрозоля. Однако в общем случае какая-то часть этого превышения обусловлена просто тем фактом, что воздух, поступающий из районов пожаров, имеет заведомо более высокую температуру.

Таблица 2

Некоторые статистические показатели концентрации черного углерода (ВС), радиационного баланса (RB) и температуры воздуха (T) в приземном воздухе в районе ст. Тикси – для трех месяцев с максимально длинными эпизодами аномально высокой концентрации ВС

Параметры		Июль 2014	Август 2014	Июль 2012
[BC]	Фон, нг/м ³	95	76	61
	Эпи, нг/м ³	1875	843	620
	Ср/Фон	1,9	1,6	1,6
	Эпи/Фон	20	11	10
	MAX/Мед	114	21	18
RB	Фон, Вт/м ²	77	41	88
	Ср/Фон	1,006	0,96	1,006
	Эпи/Фон	1,08	0,37	1,08
	Эпи-Ср, Вт/м ²	6	-26	7
T	Фон, °C	9,3	9,9	11,8
	Ср/Фон	1,04	1,02	1,02
	Эпи/Фон	2,0	1,4	1,3
	Эпи-Ср, °C	9,5	3,7	4,1

Примечания. Ср – среднее значение за месяц; Эпи – среднее значение за двое суток эпизода; Фон – среднее значение по 29 дням вне эпизода; MAX – максимальное измеренное значение за месяц; Мед – медианное значение за месяц.

Таким образом, радиационные процессы не обязательно являются определяющими при формировании поля температуры вблизи поверхности. Возможно, что в августе, когда радиационное нагревание НГА ослабевает (по сравнению с июлем) из-за более низкого угла Солнца (средний RB в августе примерно вдвое ниже, чем в июле – рис. 4), эффект от поступления теплых воздушных потоков становится определяющим. Другие параметры, которые влияют на температуру НГА (облачность, влажность и т.д.), требуют дальнейшего рассмотрения и осмыслиения – применительно к изучаемым данным.

Выводы

Анализ экспериментальных данных о концентрации черного углерода (ВС – black carbon) в приземном воздухе, полученных на метеорологической станции Тикси (Tiksi) в 2012–2014 годах, показал повышенные концентрации ВС в холодное время года по сравнению с теплыми месяцами (до 10 раз по медианным значениям за месяц). Выявлены эпизоды аномально высокой концентрации ВС (отдельные максимумы превышают медианные величины в 100 раз и более) разной длительности (от менее часа до 1–2 суток), наблюдавшиеся преимущественно в теплые месяцы (май – сентябрь).

Рассмотрены массивы данных о температуре воздуха и радиационных потоках в нижнем слое атмосферы, измеренных на метеостанции Тикси. Сложность процессов формирования поля температуры в атмосфере не позволяет однозначно связать величины этих параметров с содержанием ВС в приземной атмосфере и оценить прямые радиационные эффекты, обусловленные наличием в воздухе дымового аэрозоля. Специальные расчеты этих эффектов с использованием данных AERONET будут продолжением данной работы.

Во время летних эпизодов с аномально высокой концентрацией ВС в приземном воздухе поправки к температуре воздуха, вносимые за счет изменения атмосферных радиационных процессов дымовым аэрозолем, вполне сопоставимы с поправками за счет адvection тепла при переносе воздуха из районов пожаров. Превышение температуры приземного воздуха во время наиболее длительных эпизодов высокой концентрации ВС по сравнению с днями вне этих эпизодов может достигать 10 градусов (при климатической норме для июля в Тикси 10°C).

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№17-05-00245, 18-05-60183). Авторы благодарны организаторам сайтов <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>; <ftp://ftp1.esrl.noaa.gov>; <https://www.esrl.noaa.gov/psd/iasoa>; <http://acs.engr.utk.edu/Data.php> за формирование информации и возможность ее свободного использования.

Список литературы

1. Алексеев Г.В. Арктическое измерение глобального потепления // Лёд и Снег. 2014. Т. 54, № 2. С. 53–68.
2. AMAP Assessment 2015: Black carbon and ozone as Arctic climate forcers. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway, 2015. 116 p. ISBN 978-82-7971-092-9
3. Schmeisser L., Backman J., Ogren J.A., Andrews E., Asmi E., Starkweather S., Uttal T., Fiebig M., Sharma S., Eleftheriadis K., Vratolis S., Bergin M., Tunved P., Jefferson A. Seasonality of aerosol optical properties in the Arctic // Atmos. Chem. Phys. Discuss. <https://doi.org/10.5194/acp-2017-1117>, in review, 2018.
4. Tomasi C., Kokhanovsky A., Lugi A., Ritter C., Smirnov A., O'Neill N.T., Stone R.S., Holben B.N., Nyeki S., Wehrli C., Stohl A., Mazzola M., Lanconelli C., Vitale V., Stebel K., Aaltonen V., de Leeuw G., Rodriguez E., B. Herber A., Radionov V.F., Zielin-

- ski T., Petelski T., Sakerin S.M., Kabanov D.M., Xue Y., Mei L., Istomina L., Wagener R., McArthur B., Sobolewski P.S., Kivi R., Courcoux Y., Larouche P., Broccardo S., Piketh S.J. Aerosol remote sensing in polar region // Earth-Science Reviews. 2015. V. 140. P. 108–115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.11.001>
5. Копейкин В.М., Репина И., Гречко Е.И., Огородников Б.И. Измерение содержания сажевого аэрозоля над водной поверхностью в Южном и Северном полушариях // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 444–450.
 6. Fukasawa T., Ohta S., Murao N., Yamagata S., Makarov V.N. Aerosol observations in the Siberian Arctic. Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol. 1997. V. 11. P. 150–160.
 7. Yasheva E.P., Kozlov V.S., Panchenko, Shmargunov V.P. Long-term variability of aerosol and Black Carbon concentrations M.V. in the atmospheric surface layer as results of 20-year measurements at the IAO Aerosol Station // Proceedings of SPIE. 2017. V. 10466. 10466 3I.
 8. Голицын Г.С., Гречко Е.И., Ван Генчен, Ван Пусай, Джола А.В., Емиленко А.С., Копейкин В.М., Ракитин В.С., Сафонов А.Н., Фокеева Е.В. Исследование загрязнения атмосферы Москвы и Пекина окисью углерода и аэрозолем. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51, № 1. С. 8–19.
 9. Емиленко А.С., Копейкин В.М. Сравнение синхронных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в регионах с различной степенью антропогенной нагрузки // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 535–540.
 10. Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Виноградова А.А., Лисицын А.П., Макаров В.Н., Попова С.А., Сивонен В.В., Сивонен В.П. Элементный и органический углерод в атмосферном аэрозоле над северо-западным побережьем Кандалакшского залива Белого моря // ДАН. 2015. Т. 461, № 1. С. 70–74.
 11. Backman J., Schmeisser L., Virkkyla A., Ogren J.A., Asmi E., Starkweather S., Sharma S., Eleftheriadis K., Uttal T., Jefferson A., Bergin M., Makshtas A., Tunved P., Fiebig M. On Aethalometer measurement uncertainties and multiple scattering correction factor for the Arctic // Atmos. Meas. Tech. 2017. V. 10. P. 5039–5062. doi:10.5194/amt-10-5039-2017
 12. Asmi E., Kondratyev V., Brus D., Laurila T., Lihavainen H., Backman J., Vakkari V., Aurela M., Hatakka J., Viisanen Y., Uttal T., Ivakhov V., Makshtas A. Aerosol size distribution seasonal characteristics measured in Tiksi, Russian Arctic // Atmos. Chem. Phys. 2016. V. 16. P. 1271–1287. doi:10.5194/acp-16-1271-2016
 13. Виноградова А.А., Васильева А.В. Модельные оценки концентрации черного углерода в приземном воздухе северных районов России // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 6. С. 467–475.
 14. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13, № 4. С. 5–20.
 15. Limon-Sanchez M.T., Carballo-Romero P., Hernandez-Mena L., Saldarriaga-Norena H., Lopez-Lopez A., Cosio-Ramirez R., Arriaga-Colina J.L., Smith W. Black carbon in PM2.5, data from two urban sites in Guadalajara, Mexico during 2008 // Atmospheric Pollution Research 2011. V. 2. P. 358–365.
 16. Самсонов Ю.Н., Попова С.А., Беленко О.А., Чанкина О.В. Химический состав и дисперсные характеристики дымовой аэрозольной эмиссии от пожаров в boreальных лесах Сибири. // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21, № 6. С. 523–531.
 17. Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н., Романовская А.А. Лесные пожары в Сибири и на Дальнем Востоке: эмиссии и атмосферный перенос черного углерода в Арктику // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 6. С. 438–445.
 18. Виноградова А.А., Титкова Т.Б., Иванова Ю.А. Эпизоды аномально высокой концентрации черного углерода в приземном воздухе в районе станции Тикси, Якутия // Оптика атмосферы и океана. 2018. В печати.
 19. Gorchakov G.I., Sitnov S.A., Sviridenkov M.A., Semoutnikova E.G., Emilenko A.S., Isakov A.A., Kopeikin V.M., Karpov A.V., Gorchakova I.A., Verichev K.S., Kurbatov G.A., Ponomareva T.Ya. Satellite and ground-based monitoring of smoke in the atmosphere during the summer wildfires in European Russia in 2010 and Siberia in 2012 // Int. J. Rem. Sens. 2014. V. 35, N. 15. P. 5698–5721.

BLACK CARBON, TEMPERATURE, AND RADIATIVE BALANCE IN NEAR SURFACE AIR AT TIKSI STATION, YAKUTIYA

Anna A. Vinogradova¹, Tatiana B. Titkova²

¹A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
anvinograd@yandex.ru

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
anvinograd@yandex.ru, ttitkova@yandex.ru

Abstract. Measured data (2012–2014) on black carbon (BC) concentration in surface air at International Station Tiksi, placed near the River Lena's Delta, have been analyzed. We revealed BC concentration variations of different magnitude and duration. Abnormally high values of BC concentration (more than 1000 ng/m³) exist rarely, more often in warm part of a year (May – September). The length of these passages is not more than two days. During such episodes with abnormal BC concentration the near surface air temperature and radiative balance at the lower border of the atmosphere vary noticeably. The mean temperature through an episode may evaluate the mean value for the days out of episode (monthly) up to 10 degrees, whereas the climatic mean air temperature for July in Tiksi is about 10°C. Temperature amendment from atmospheric radiation changes may be comparable with amendment from heat advection by air mass coming from fires.

Keywords: atmosphere, Arctic, Tiksi, black carbon, radiative balance, near surface air temperature

References

1. Alekseev G.V. Arctic dimension of global warming. *Ice and Snow*. 2014;54(2):53–68. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2014-2-53-68>
2. AMAP Assessment 2015: Black carbon and ozone as Arctic climate forcers. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway, 2015. 116 p. ISBN 978-82-7971-092-9
3. Schmeisser L., Backman J., Ogren J.A., Andrews E., Asmi E., Starkweather S., Uttal T., Fiebig M., Sharma S., Eleftheriadis K., Vratolis S., Bergin M., Tunved P., Jefferson A. Seasonality of aerosol optical properties in the Arctic // *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* <https://doi.org/10.5194/acp-2017-1117>, in review, 2018.
4. Tomasi C., Kokhanovsky A., Lupi A., Ritter C., Smirnov A., O'Neill N.T., Stone R.S., Holben B.N., Nyeki S., Wehrli C., Stohl A., Mazzola M., Lanconelli C., Vitale V., Stebel K., Aaltonen V., de Leeuw G., Rodriguez E., B. Herber A., Radionov V.F., Zielinski T., Petelski T., Sakerin S.M., Kabanov D.M., Xue Y., Mei L., Istomina L., Wagener R., McArthur B., Sobolewski P.S., Kivi R., Courcoux Y., Larouche P., Broccardo S., Piketh S.J. Aerosol remote sensing in polar region // *Earth-Science Reviews*. 2015. V. 140. P. 108–115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.11.001>
5. Kopeikin V.M., Repina I.A., Grechko E.I., Ogorodnikov B.I. 2010. [Измерение содерхания сажевого аэрозоля над водной поверхностью в Южном и Северном полушариях]. *Оптика атмосферы и океана*. 23 (6): 444–450. (In Russian).
6. Fukasawa T., Ohta S., Murao N., Yamagata S., Makarov V.N. Aerosol observations in the Siberian Arctic. Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol. 1997. V. 11. P. 150–160.
7. Yausheva E.P., Kozlov V.S., Panchenko, Shmargunov V.P. Long-term variability of aerosol and Black Carbon concentrations M.V. in the atmospheric surface layer as results of 20-year measurements at the IAO Aerosol Station // Proceedings of SPIE. 2017. V. 10466. 10466 31.
8. Golitsyn G.S., Grechko E.I., Dzhola A.V., Emilenko A.S., Kopeikin V.M., Rakitin V.S., Safronov A.N., Fokeeva E.V., Wang G., Wang P. Studying the pollution of Moscow and Beijing atmospheres with carbon monoxide and aerosol Izv. Atmos. and Ocean. Phys. 2015. T. 51. № 1. DOI: 10.1134/S0001433815010041
9. Emilenko A.S., Kopeikin V.M. 2009. [Сравнение синхронных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в регионах с различной степенью антропогенной нагрузки]. *Оптика атмосферы и океана*. 22 (6): 535–540. (In Russian).
10. Shevchenko V.P., Starodymova D.P., Vinogradova A.A., Lisitzin A.P., Makarov V.I., Popova S.A., Sivonen V.V., Sivonen V.P. Elemental and Organic Carbon in Atmospheric Aerosols over the Northwestern Coast of Kandalaksha Bay of the White Sea // *Doklady Earth Sciences*. 2015. V. 461. N 1. P. 242–246.
11. Backman J., Schmeisser L., Virkkyla A., Ogren J.A., Asmi E., Starkweather S., Sharma S., Eleftheriadis K., Uttal T., Jefferson A., Bergin M., Makshtas A., Tunved P., Fiebig M. On Aethalometer measurement uncertainties and multiple scattering correction factor for the Arctic // *Atmos. Meas. Tech.* 2017. V. 10. P. 5039–5062. doi:10.5194/amt-10-5039-2017
12. Asmi E., Kondratyev V., Brus D., Laurila T., Lihavainen H., Backman J., Vakkari V., Aurela M., Hatakka J., Viisanen Y., Uttal T., Ivakhov V., Makshtas A. Aerosol size distribution seasonal characteristics measured in Tiksi, Russian Arctic // *Atmos. Chem. Phys.* 2016. V. 16. P. 1271–1287. doi:10.5194/acp-16-1271-2016
13. Vinogradova A.A., Vasileva A.V. Black Carbon in Air Over Northern Regions of Russia: Sources and Spatiotemporal Variations // *Atmos.Ocean.Opt.* 2017. V. 30. No. 6. P. 533–541. DOI: 10.1134/S1024856017060161

14. Vinogradova A.A. 2015. Distant Evaluation of the Influence of Air Pollution on Remote Areas. *Izv., Atmospheric and Oceanic Physics.* 51 (7): 712–722. doi: 10.1134/S0001433815070099 (Engl. Transl.)
15. Limon-Sanchez M.T., Carballo-Romero P., Hernandez-Mena L., Saldarriaga-Norena H., Lopez-Lopez A., Cosio-Ramirez R., Arriaga-Colina J.L., Smith W. Black carbon in PM2.5, data from two urban sites in Guadalajara, Mexico during 2008 // *Atmospheric Pollution Research* 2011. V. 2. P. 358–365.
16. Samsonov Yu.N., Popova S.A., Belenko O.A., Chankina O.V. 2008. [Khimicheskiy sostav i dispersnye kharakteristiki dymovoy aerozolnoy emissii ot pozharov v borealnykh lesakh Sibiri]. *Optika atmosfery i okeana.* 21 (6): 523–531. (In Russian).
17. Vinogradova A.A., Smirnov N.S., Korotkov V.N., Romanovskaya A.A. 2015. Forest Fires in Siberia and the Far East: Emissions and Atmospheric Transport of Black Carbon to the Arctic. *Atmospheric and Oceanic Optics.* 28 (6): 566–574. doi: 10.1134/S1024856015060184 (Engl. Transl.)
18. Vinogradova A.A., Titkova T.B., Ivanova Yu.A. 2018. [Epizody anomalno vysokoy kontsentratsii chernogo ugleroda v prizemnom vozdukhe v raione stantsii Tiksi, Yakutiya]. *Optika atmosfery i okeana.* 31. In Press. (In Russian).
19. Gorchakov G.I., Sitnov S.A., Sviridenkov M.A., Semoulnikova E.G., Emileenko A.S., Isakov A.A., Kopeikin V.M., Karpov A.V., Gorchakova I.A., Verichev K.S., Kurbatov G.A., Ponomareva T.Ya. Satellite and ground-based monitoring of smoke in the atmosphere during the summer wildfires in European Russia in 2010 and Siberia in 2012 // *Int. J. Rem. Sens.* 2014. V. 35, N. 15. P. 5698–5721.