

УДК 551.510 + 551.521.3

## Годовой ход микрофизических характеристик аэрозоля на станции Восток в 2009 и 2011 гг.

В.В. Польшин, Вас.В. Польшин, М.В. Панченко\*

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

Поступила в редакцию 17.08.2012 г.

В апреле–декабре 2009 и январе–декабре 2011 гг. на Российской внутриконтинентальной станции Восток в рамках 54-й и 56-й Российских антарктических экспедиций с помощью аэрозольного комплекса, в состав которого входили модифицированный нефелометр ФАН, фотоэлектрический счетчик частиц АЗ-10 и аэталометр, разработанный в Институте оптики атмосферы СО РАН, проводились измерения микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля. С периодичностью 1–2 ч определялись счетная и массовая концентрации аэрозоля, дисперсный состав (гранулометрия) в диапазоне диаметров частиц  $d = 0,3 \div 10$  мкм и массовая концентрация микрокристаллического углерода. Анализируется временная изменчивость измеренных аэрозольных параметров. Сезонная зависимость аэрозольных параметров в годовом ходе проявляется в максимальных значениях параметров для ноября–апреля и минимальных для июня–августа. Показано, что сезонные различия в дисперсном составе антарктического аэрозоля проявляются главным образом в субмикронном диапазоне размеров.

Проводится сравнение полученных результатов с данными других исследователей для высокоширотных районов Антарктиды.

*Ключевые слова:* концентрация аэрозоля, концентрация сажи, распределение частиц по размерам; aerosol concentration, black carbon concentration, particle size distribution.

### Введение

Антарктида считается наиболее чистым и не подверженным антропогенному влиянию регионом Земли. Важность исследований в этом районе определяется возрастающей значимостью аэрозольных характеристик как фактора климатических изменений, а также дефицитом информации об аэрозоле. Имеющиеся данные [1–13] о микрофизических характеристиках в труднодоступных высокоширотных районах Земли носят главным образом эпизодический характер.

В настоящей статье представлены предварительные результаты анализа двухгодичных измерений приземных микрофизических характеристик аэрозоля, впервые полученных на внутриконтинентальной станции Восток в 54-й и 56-й Российских антарктических экспедициях в сезонный и зимовочный периоды работ. Измерения проводились с помощью аэрозольного комплекса, в состав которого входили модифицированный нефелометр ФАН, фотоэлектрический счетчик частиц АЗ-10 и аэталометр, разработанный в Институте оптики атмосферы СО РАН. С помощью этого комплекса измерялись соответственно массовая концентрация субмикронных частиц  $M_a$  ( $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ), счетная и мас-

совая концентрации  $N_{a,0,3}$  ( $\text{см}^{-3}$ ) и  $M_{a,0,3}$  ( $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ), дисперсный состав частиц диаметром  $d = 0,3 \div 10$  мкм и массовая концентрация поглощающего аэрозоля («сажи» – Black Carbon)  $M_{\text{BC}}$  ( $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ).

### 1. Описание района исследования

Ряды наблюдений приземных микрофизических характеристик получены на Российской научной внутриконтинентальной станции Восток. Она расположена на равнинной снежной поверхности ледникового плато Восточной Антарктиды на высоте 3488 м над ур.м., с географическими координатами  $78^{\circ}28'$  ю.ш. и  $106^{\circ}48'$  в.д. Наименьшее расстояние от побережья – 1260 км, от Южного полюса – 1253 км (рис. 1).



Рис. 1. Расположение ст. Восток в Антарктиде

\* Виктор Викторович Польшин (victor@iao.ru); Василий Викторович Польшин (sibvas@gmail.com); Михаил Васильевич Панченко (pmv@iao.ru).

Восточно-Антарктический ледниковый щит, на котором находится станция, является целостным массивом антарктического льда, который никогда не тает [14–16]. Высокогорная часть щита с отметками более 2000–3000 м относится к климатической области Центральной Антарктиды, в которой отмечается высокая прозрачность атмосферы, в отличие от прибрежных районов [14].

Суммарная солнечная радиация в декабре на ст. Восток достаточно высокая ( $1,26 \text{ ГДж} \cdot \text{м}^{-2}$ ) и на 80% состоит из прямой радиации. Здесь в течение всего года отмечаются необычно низкие температуры воздуха. Средняя годовая температура воздуха на станции равна  $-55,4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 2. Аппаратура и методика эксперимента

Комплекс аппаратуры размещался в здании «Радиодома». Забор воздуха осуществлялся на высоте около 1,4 м над уровнем снежного покрова и далее поступал по воздуховодам к нефелометру, счетчику и аэталометру.

Местоположение аппаратуры относительно других построек схематично представлено на рис. 2, где показано преобладающее среднегодовое направление ветра на станции.

Измерения на аэрозольной станции выполнялись в автоматическом режиме круглосуточно с периодичностью 1–2 ч. Время прокачки воздуха через рабочие объемы всех приборов составляло 10–20 мин.

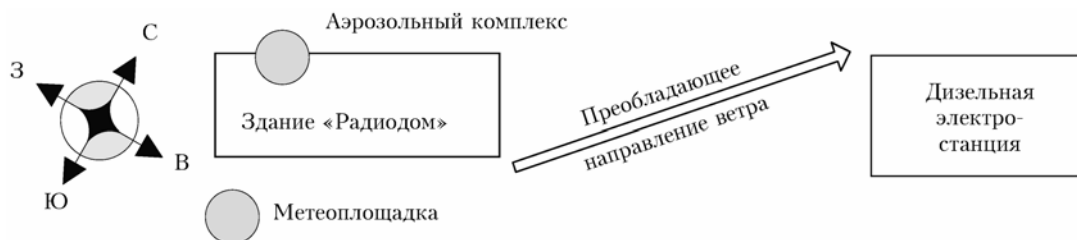


Рис. 2. Схема местоположения аэрозольного комплекса

Скорость прокачки воздуха для нефелометра и аэталометра – 3 л/мин, счетчика – 1 л/мин. Данные измерений заносились в реальном масштабе времени в рабочие файлы компьютера.

На рис. 3 представлен внешний вид аппаратуры, используемой для анализа аэрозоля.

В 2009 г. забор аэрозоля проводился только нефелометром. С помощью нефелометра (длина волны источника излучения 0,51 мкм) измерялся коэффициент направленного рассеяния  $\mu(45^\circ)$  ( $\text{Мм}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$ ) сухой основы субмикронных частиц под углом рассеяния  $45^\circ$ . По данным о коэффициенте направленного аэрозольного рассеяния оценивалась массовая концентрация субмикронного аэрозоля  $M_a$  ( $\text{мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ) =  $2,40\mu(45^\circ)$  [17–20].

В 2011 г. измерения проводились фотоэлектрическим счетчиком аэрозольных частиц (ФСЧ) АЗ-10 и аэталометром. С помощью ФСЧ АЗ-10 измерялись счетная концентрация  $N_{a0,3}$ , распределение частиц по размерам в диапазоне диаметров 0,3–10 мкм и массовая концентрация аэрозоля  $M_{a0,3}$ . Периодическая калибровка ФСЧ в процессе измерений осуществлялась с помощью внутреннего калибратора прибора. Аэталометр обеспечивает измерения массовой концентрации «сажи»  $M_{\text{BC}}$  в атмосферном аэрозоле с концентрационной чувствительностью около  $0,01 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  при прокачке через прибор 30 л воздуха [21]. Абсолютная калибровка прибора выполнялась в лабораторных условиях с помощью пиролизного генератора сажевых частиц, и проводилось сопоставление данных синхронных оптических и гравиметрических измерений [22].



Рис. 3. Аэрозольный комплекс

### 3. Анализ полученных данных

За период с апреля по декабрь 2009 г. и с января по декабрь 2011 г. было получено 5493 почасовых измерения массовой концентрации субмикронных частиц  $M_a$ , 4725 почасовых измерений массовой концентрации «сажи»  $M_{BC}$  и 4648 почасовых измерений счетной концентрации  $N_{a,0,3}$ , дисперсного состава и массовой концентрации  $M_{a,0,3}$  частиц диаметром более 0,3 мкм.

Из дальнейшего анализа были удалены все данные, подвергшиеся явному антропогенному воздействию со стороны жилых и рабочих помещений. Так, после чистки всего массива данных, полученных в 2009 г., осталось 75%. Для данных 2011 г. по массовой концентрации «сажи»  $M_{BC}$  после чистки осталось 95% данных, по счетной и массовой концентрации аэрозоля  $N_{a,0,3}$  и  $M_{a,0,3}$  — по 68%.

На рис. 4 представлены данные почасовых измерений и усредненные за месяц, а также указаны средние значения параметров, среднеквадратические отклонения, минимальные и максимальные значения, рассчитанные для почасовых измерений.

Видно, что практически для всех исследуемых параметров минимальные значения наблюдаются

в «зимний» период года (июнь—август), когда в Южном полушарии и Антарктиде наступает «зима» и солнце практически не выходит из-за горизонта. В это время приземная температура воздуха достигает своих наиболее низких значений. В связи с этим значительно сокращается и хозяйственно-технологическая деятельность на станции, т.е. влияние антропогенного фактора на приземный аэрозоль минимально. Похожая сезонная зависимость отмечается в [9, 23] и для счетной концентрации ядер конденсации, которые являются предшественниками субмикронных частиц.

Различие в абсолютных значениях массовой концентрации  $M_a$ , полученных в 2009 г. с помощью нефелометра (рис. 4, а), и  $M_{a,0,3}$ , полученных в 2011 г. с помощью фотоэлектрического счетчика АЗ-10 (рис. 4, з), вполне ожидаемо и объясняется тем обстоятельством, что нефелометр регистрирует массовую концентрацию частиц во всем субмикронном диапазоне размеров частиц  $r < 1$  мкм, а фотоэлектрический счетчик только для частиц радиусом  $r > 0,15$  мкм [23]. При этом основная масса частиц субмикронного диапазона для антарктического аэрозоля находится в диапазоне  $r < 0,15$  мкм [10].

Функции распределения объемов аэрозольных частиц  $V$  по размерам были рассчитаны из счетной

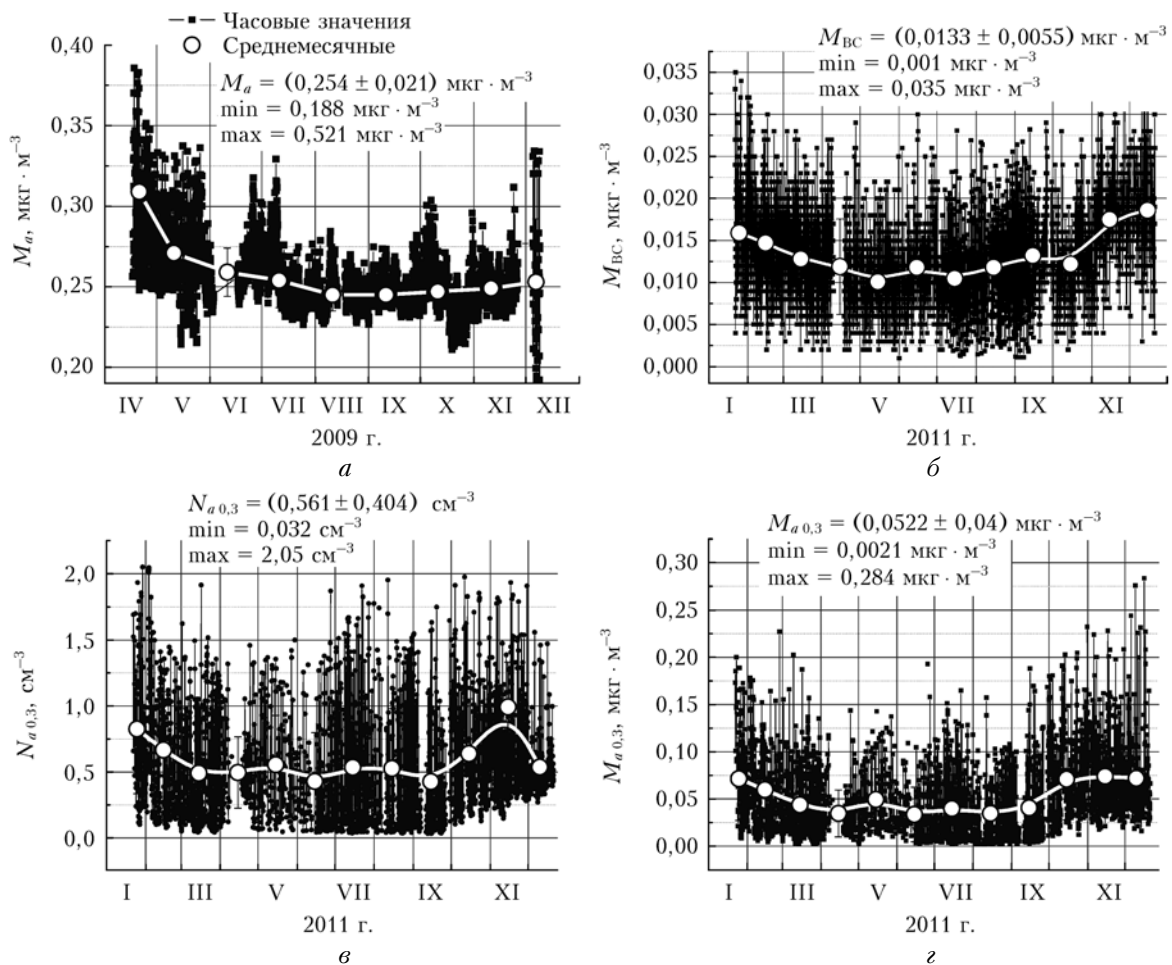


Рис. 4. Временной ход массовой концентрации субмикронного аэрозоля  $M_a$  (а) для 2009 г., массовой концентрации «сажи»  $M_{BC}$  (б), счетной и массовой концентраций аэрозоля  $N_{a,0,3}$  и  $M_{a,0,3}$  (в, з) для 2011 г.

концентрации  $dV/dr = \pi(4/3)r_{cp}^3 dN/dr$  (где  $dr$  — ширина диапазона радиусов,  $r_{cp}$  — средние значения радиуса частиц для выбранного диапазона).

На рис. 5 приведены функции распределения объемов аэрозольных частиц по размерам для наиболее контрастных временных интервалов («зима» — «лето»), которые значительно отличаются друг от друга по суммарной солнечной радиации. Видно, что различия кривых для июня и ноября проявляются главным образом в субмикронной области размеров частиц.

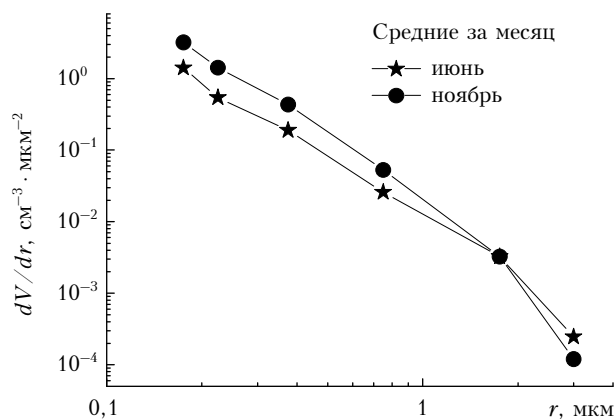


Рис. 5. Функции распределения объемов аэрозольных частиц по размерам

Согласованность сезонной зависимости годового хода аэрозольных параметров с данными, полученными другими исследователями Антарктиды [8–13], иллюстрируется рис. 6.

На рис. 6, а для 2009 г. приведены среднемесячные значения массовой концентрации субмикронного аэрозоля  $M_a$ , измеренные на ст. Восток, и концентрации ядер конденсации, которые являются предшественниками субмикронного аэрозоля (concentration nuclear condensation — CNC), полученные на Южном полюсе [13]. Для 2011 г. на рис. 6, б сравниваются среднемесячные значения счетной концентрации  $N_{a,0,3}$  (ст. Восток) и CNC [13]. Минимальные среднемесячные значения  $M_a$  наблюдаются для августа, а для CNC — для июля. В 2011 г. минимальные значения  $N_{a,0,3}$  и CNC наблюдаются с апреля по сентябрь.

### Закключение

Впервые на Российской внутриконтинентальной станции Восток проведены наблюдения микрофизических параметров приземного аэрозоля с апреля по декабрь 2009 г. и с января по декабрь 2011 г.

Анализ полученных данных показал, что сезонная зависимость аэрозольных параметров в годовом ходе проявляется в максимальных значениях параметров для ноября—апреля и минимальных для июня—августа. Среднемесячные максимальные значения:  $M_a = 0,31 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ,  $M_{a,0,3} = 0,074 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ,  $N_{a,0,3} = 0,993 \text{ см}^{-3}$ ,  $M_{BC} = 0,0186 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Среднемесячные минимальные значения:  $M_a = 0,245 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ,

$M_{a,0,3} = 0,035 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ ,  $N_{a,0,3} = 0,427 \text{ см}^{-3}$ ,  $M_{BC} = 0,01 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

Установлено, что сезонные различия в дисперсном составе антарктического аэрозоля проявляются главным образом в субмикронном диапазоне размеров.

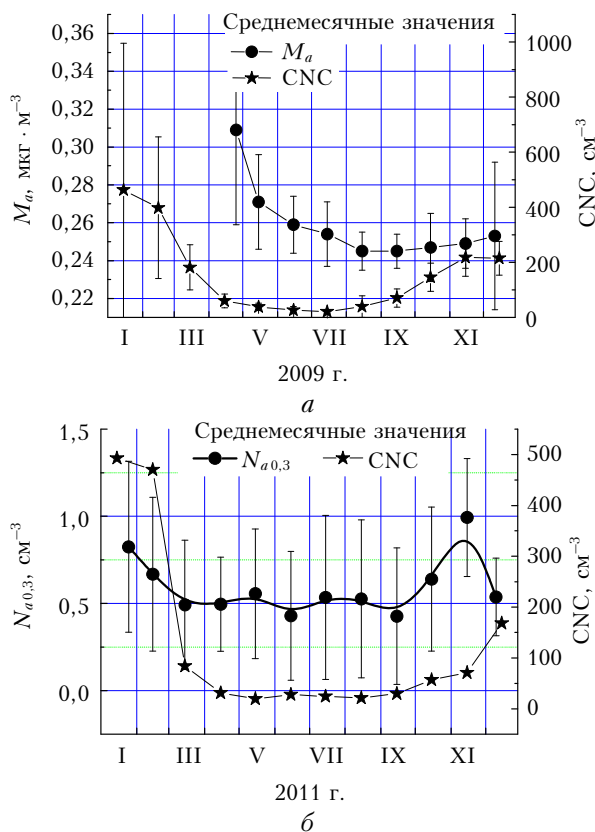


Рис. 6. Среднемесячные значения массовой концентрации субмикронного аэрозоля  $M_a$ , полученные на ст. Восток, и концентрации ядер конденсации CNC, полученные на Южном полюсе (данные NOAA — National Oceanic and Atmospheric Administration) [13] (а); счетная концентрация  $N_{a,0,3}$  (ст. Восток) и CNC [13] (б)

Авторы выражают глубокую благодарность заведующему лабораторией экспериментальных и радиационных исследований ФГБУ ААНИИ Владимиру Федоровичу Радионову, начальнику станции Восток в 54-й и 56-й Российских антарктических экспедициях Алексею Викторовичу Туркееву, инженеру-гляциологу Александру Юрьевичу Гребенникову за помощь в организации и проведении измерений, Владимиру Петровичу Шмаргунову за участие в подготовке и калибровке аппаратуры.

Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 75 и при поддержке проекта 23.1 программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология».

1. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А., Смирнов В.В., Серова В.В., Штайн Р. Аэрозоли Арктики — результаты десятилетних исследований // Оптика атм. и океана. 2000. Т. 13, № 6–7. С. 551–576.

2. *Виноградова А.А., Шевченко В.П.* Роль атмосферных аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана и его морей // *Оптика атмосфер. и океана*. 2005. Т. 18, № 5–6. С. 387–394.
3. *Виноградова А.А., Пономарева Т.Я.* Источники и стоки антропогенных микроэлементов в атмосфере Арктики: тенденции изменения с 1981 по 2005 гг. // *Оптика атмосфер. и океана*. 2007. Т. 20, № 6. С. 471–480.
4. *Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А.* Влияние промышленности Норильска и Урала на окружающую среду различных районов Сибири // *Оптика атмосфер. и океана*. 2008. Т. 21, № 6. С. 479–485.
5. *Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А.* Изменения атмосферной циркуляции и загрязнения окружающей среды в Сибири от промышленных районов Норильска и Урала в начале XXI в. // *Оптика атмосфер. и океана*. 2009. Т. 22, № 6. С. 527–534.
6. *Виноградова А.А., Иванова Ю.А.* Антропогенное загрязнение природных сред в районе Костомукшского заповедника (Карелия) при дальнем переносе аэрозольных примесей в атмосфере // *Оптика атмосфер. и океана*. 2011. Т. 24, № 6. С. 493–501.
7. *Виноградова А.А., Пономарева Т.Я.* Атмосферный перенос антропогенных примесей в арктические районы России (1986–2010 гг.) // *Оптика атмосфер. и океана*. 2012. Т. 25, № 6. С. 475–483.
8. *Barrie L.A.* Arctic air pollution: An overview of current knowledge // *Atmos. Environ.* 1986. V. 20. P. 643–663.
9. *Shaw G.E.* Antarctic aerosols: A review // *Rev. Geophys.* 1988. V. 26, N 1. P. 89–112. doi: 10.1029/RG026i001p00089.
10. *Parungo F., Ackerman E., Caldwell W., Weickmann.* Individual particle analysis of Antarctic aerosols // *Tellus*. 1979. V. 31. P. 521–529.
11. *Mazerra D.M., Lowenthal D.H., Chow J.C., Watson J.G., Grubisic V.* PM<sub>10</sub> measurements at McMurdo Station, Antarctica // *Atmos. Environ.* 2001. V. 35. P. 1891–1902.
12. *Fujita K., Abe O.* Stable isotopes in daily precipitation at Dome Fuji, East Antarctica // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. L18503, doi: 10.1029/2006GL026936.
13. URL: <http://www.esrl.noaa.gov>
14. URL: [http://www.aari.aq/stations/vostok/vostok\\_ru.html](http://www.aari.aq/stations/vostok/vostok_ru.html)
15. *Аверьянов В.Г.* Гляциоклиматология Антарктиды. Л.: Гидрометеониздат, 1990. 198 с.
16. *Аверьянов В.Г.* Климат района станции Восток // *Информ. бюл. сов. антаркт. экспед.* 1968. № 69. С. 79–17.
17. *Горчаков Г.И., Емиленко А.С., Свириденков М.А.* Однопараметрическая модель приземного аэрозоля // *Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана*. 1981. Т. 17, № 1. С. 39–49.
18. *Шмаргунов В.П., Козлов В.С., Тумаков А.Г., Польшкин В.В., Панченко М.В.* Автоматизированный аэрозольный нефелометр на базе ФАНа // *Приборы и техн. эксперим.* 2008. № 5. С. 165.
19. *Козлов В.С., Польшкин В.В., Панченко М.В., Голобокова Л.П., Турчинович Ю.С., Ходжер Т.В.* Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне «материк–океан» (Приморье и Японское море). Часть 3. Микрофизические характеристики и ионный состав аэрозоля в приземном и приподнятом слоях // *Оптика атмосфер. и океана*. 2010. Т. 23, № 11. С. 967–977.
20. *Польшкин В.В., Козлов В.С., Турчинович Ю.С., Шмаргунов В.П.* Сравнительный анализ микрофизических характеристик аэрозоля в морских и прибрежных районах Приморья // *Оптика атмосфер. и океана*. 2011. Т. 24, № 6. С. 538–546.
21. *Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Польшкин В.В.* Спектрофотометры для исследования характеристик поглощения света аэрозольными частицами // *Приборы и техн. эксперим.* 2008. № 5. С. 155–157.
22. *Козлов В.С., Панченко М.В., Шмаргунов В.П.* Малогабаритный фотометр для измерения коэффициента аэрозольного поглощения на длине волны 0,522 мкм // XI Рабочая группа «Аэрозоли Сибири»: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2004. 62 с.
23. *Свириденков М.А., Андронов А.В., Емиленко А.С., Иорданский М.А.* Сравнение спектров размеров частиц по данным измерений с помощью нефелометра и фотоэлектрического счетчика // XVI Рабочая группа «Аэрозоли Сибири». Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2009. 59 с.

*V. V. Pol'kin, V. V. Pol'kin, M. V. Panchenko. Annual variations of microphysical properties of aerosol at the station "Vostok" in 2009 and 2011.*

Measurements of the atmospheric aerosol microphysical characteristics were carried out in April–December, 2009 and January–December, 2011 at the Vostok continental station in the framework of the 54th and 56th Russian Antarctic Expeditions. The instrumentation complex consisted of a modified nephelometer FAN, AZ-10 photoelectric counter and the aethalometer, designed at Institute of Atmospheric Optics. The aerosol number and mass concentrations  $N_a$  ( $\text{cm}^{-3}$ ) and  $M_a$  ( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ), aerosol disperse composition in the particle size range  $d = 0.3\text{--}10 \mu\text{m}$  and the mass concentration of black carbon  $M_{\text{BC}}$  ( $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ) were recorded with the period of 1–2 hours. Temporal variability of the measured aerosol parameters is determined. Seasonal variations of the aerosol parameters are revealed as maximal in the period from November to April and minimal from June to August. It is shown that seasonal differences in the disperse composition of Antarctic aerosol are observed mainly in submicrometer size range.

The results obtained are compared with the data of other researchers for high-latitude regions of the Antarctic.