

РАЗДЕЛ 5.
ГИДРОЛОГИЯ, ОКЕАНОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ

УДК 551.583

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
ВИДИМОСТИ В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ ИЗ-ЗА ВЛИЯНИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ НА СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО
АЭРОЗОЛЯ**

Асадов Х.Г., Абасзаде Ф.Г

*Национальное аэрокосмическое агентство, г.Баку, Азербайджанская Республика
E-mail:asadzade@rambler.ru*

Статья посвящена эффекту экстремальной видимости в береговых зонах и его теоретическому пояснению. Проанализирован механизм взаимосвязи основных показателей и факторов, характеризующих влияния аэрозоля на метеорологическую видимость в береговой зоне под воздействием относительной влажности. Показано, наличие экстремального характера зависимости метеорологической видимости в береговой зоне в зависимости от относительной влажности. Изложено экспериментальное подтверждение наличия экстремума видимости в зависимости от относительной влажности.

Ключевые слова: видимость, влажность, увлажнение, аэрозоль, атмосфера.

ВВЕДЕНИЕ

Метеорологическое определение видимости означает такую дистанцию, на которой контраст исследуемого объекта по отношению к фону равен пороговому контрасту наблюдателя [1,2].

Обычно видимость ниже 2 км считается плохой видимостью, которая может вызвать чрезвычайные ситуации или проблемы, связанные с общественной безопасностью [3]. В типичных случаях, при благоприятной атмосферной обстановке видимость может достигать 100км. Основной причиной уменьшения видимости при отсутствии осадков в дневное время является рассеяние или поглощение света молекулами газов или аэрозольными частицами. В тоже время, такие метеорологические факторы как температура (Т), относительная влажность, скорость ветра, направление ветра косвенно влияют на видимость, оказывая влияние на атмосферные газы и аэрозольные частицы.

Например, ветер может вызвать поток морского аэрозоля, температура может повлиять на процесс генерации вторичного органического аэрозоля, а влажность из-за гигроскопичности аэрозольных частиц может существенно повлиять на метеорологическую видимость [4].

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ВИДИМОСТИ В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ...

Процессы индустриализации и урбанизации неизбежно приводят к загрязнению атмосферного воздуха различными малыми газами и аэрозолями. Это, в свою очередь, вызывает ослабление видимости. Применительно к атмосферному аэрозолю дополнительным фактором, вызывающим дальнейшее ухудшение видимости, является гигроскопичность аэрозоля, т.е. свойство гидрофильных аэрозолей расти под воздействием влаги, содержащейся в воздухе. Такой рост приводит к изменению оптических характеристик аэрозоля [5÷9]. Такое изменение оптических характеристик аэрозоля приводит к изменению метеорологической видимости.

Как было показано в [10], на основе показаний 136 метеорологических станций, измеряющих относительную влажность воздуха, а также измеренных значений видимости, эти физические величины сильно коррелируют, т.е. рост относительной влажности приводит к уменьшению видимости, и наоборот. В работах [11, 12] было показано, что общее колонное количество водяных паров в атмосфере имеет значительную положительную корреляцию с оптической толщиной атмосферного аэрозоля.

В работе [13] было отмечено, что химический состав аэрозоля оказывает влияния на оптические свойства аэрозоля, в частности на альbedo однократного рассеяния. В частности, в работе [14] было показано, что сульфаты, нитраты и органический углерод содействуют уменьшению видимости в следующих пропорциях: 42.2%, 24.9% и 15.7%. Уменьшению видимости также содействуют вторичные гигроскопичные аэрозоли [15]. В то же время в состав атмосферного аэрозоля входит гидрофобная минеральная пыль, оптические характеристики которой существенно отличны от гидрофильных аэрозолей.

В настоящей статье мы рассмотрим совместное влияния гидрофобных и гидрофильных аэрозольных частиц на метеорологическую видимость с учетом особенностей реакции этих типов аэрозолей на относительную влажность воздуха.

МЕХАНИЗМ СОВМЕСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОФИЛЬНЫХ И ГИДРОФОБНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКУЮ ВИДИМОСТЬ В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ

Указанный показатель определяется в качестве отношения коэффициента ослабления к сухой массовой концентрации аэрозоля.

Основными факторами, влияющими на видимость в береговой зоне, являются:

1. Направление ветра: (а) с моря на континент; (б) с континента на море. Очевидно, что в первом случае в береговой зоне будут преобладать гидрофильные сульфатные и нитратные аэрозоли, а во втором случае будут преобладать гидрофобная минеральная аэрозоль.

2. Относительная влажность воздуха (RH). Очевидно, что при росте RH процентное количество гидрофильных аэрозолей будет расти, что приведет к уменьшению видимости.

Основными показателями, характеризующими влияние гидрофобных и гидрофильных типов аэрозоля на видимость, являются:

1. Процентное количество указанных типов аэрозоля при фиксированной величине относительной влажности.
2. Показатель массового ослабления оптического сигнала (Mass extinction efficiency (МЕЕ)).

Графически взаимосвязь вышеуказанных показателей и факторов отражено на рис.1.

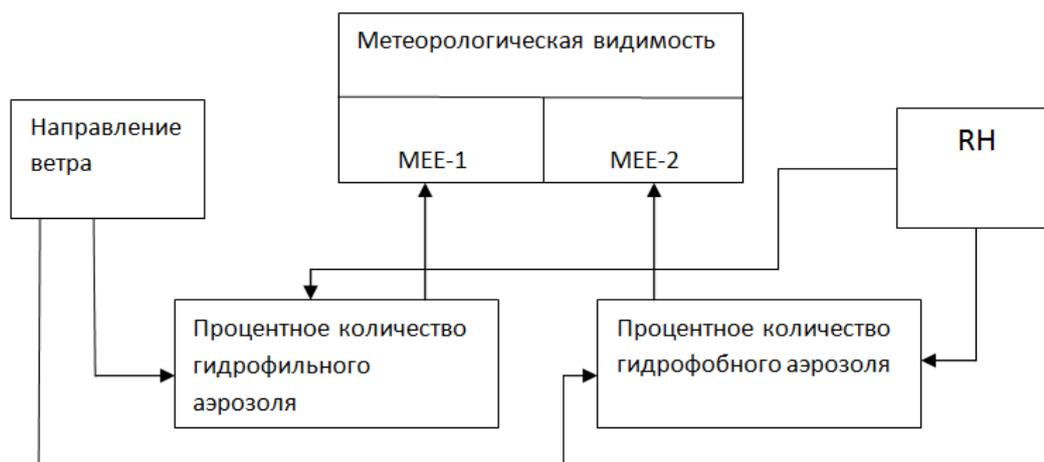


Рис.1. Графическое отображение взаимосвязи основных показателей и факторов, характеризующих влияние аэрозоля на метеорологическую видимость в береговой зоне

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ ЭФФЕКТА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ВИДИМОСТИ В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ

Рассмотрим случай, когда фактор ветра стабилен и процентное количество гидрофильных аэрозолей в береговой зоне не изменяется из-за ветра.

Подробно рассмотрим результат воздействия относительной влажности на общее количество гидрофильных аэрозолей. В соответствии с результатами экспериментально – модельных исследований, приведенных в [16] изменение долевого количество сульфатного (SO₄²⁻) аэрозоля в зависимости от относительной влажности может быть аппроксимировано выражением [16]

$$\gamma_1 = 0.436 \cdot \exp\left[\frac{(RH\%)}{21.8}\right] + 11.8 \quad (1)$$

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ВИДИМОСТИ В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ...

Соответствующая скатерограмма и регрессионная кривая показана на рис.2. Также, в соответствии с [5], изменение долевого количества минерального пылевого аэрозоля в зависимости от относительной влажности может быть аппроксимировано выражением [16]

$$\gamma_1 = 0139 \cdot \exp\left[\frac{(-RH\%)}{93.1}\right] - 34.0 \quad (2)$$

Соответствующая скатерограмма и регрессионная кривая показана на рис.3. Суммарная доля сульфатных и минеральных пылевых аэрозольных частиц определим как:

$$\gamma_0 = \gamma_1 + \gamma_2 = 0.436 \cdot \exp\left[\frac{(RH\%)}{21.8}\right] + 11.8 + 139 \cdot \exp\left[\frac{(-RH\%)}{93.1}\right] - 34.0 \quad (3)$$

Исследуем выражение (3) на экстремум. Первая производная γ_0 по $RH\%$ получена в виде (далее знак % опускается)

$$\frac{d\gamma_0}{dRH} = \frac{0.436}{21.8} \cdot \exp\left[\frac{(RH\%)}{21.8}\right] - \frac{139}{93.1} \cdot \exp\left[\frac{(-RH\%)}{93.1}\right] \quad (4)$$

Приравнивая выражение (4) к нулю получим

$$\frac{0.436 \cdot 93.1}{21.8 \cdot 139} = \exp\left[\frac{-RH}{93.1} - \frac{RH}{21.8}\right] \quad (5)$$

Осуществив логарифмирование (5) имеем

$$-RH = \left(\frac{1}{93.1} + \frac{1}{21.8}\right) = \ln\left(\frac{0.436 \cdot 93.1}{21.8 \cdot 139}\right) \quad (6)$$

Из (6) окончательно находим

$$RH = \frac{\ln\left(\frac{21.8 \cdot 139}{0.436 \cdot 93.1}\right)}{\frac{1}{93.1} + \frac{1}{21.8}} \approx 70\% \quad (7)$$

Взяв вторую производную (3) по RH можно показать, что она всегда положительна, т.е. вычислений экстремум является минимумом.

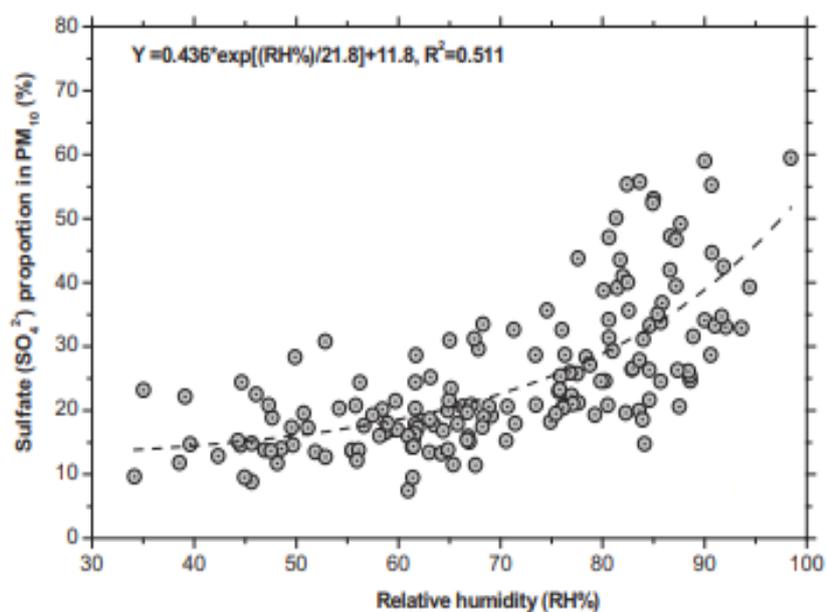


Рис.2. Скатерограмма и регрессионная кривая зависимости долевой величины сульфатного аэрозоля от значения RH [16]

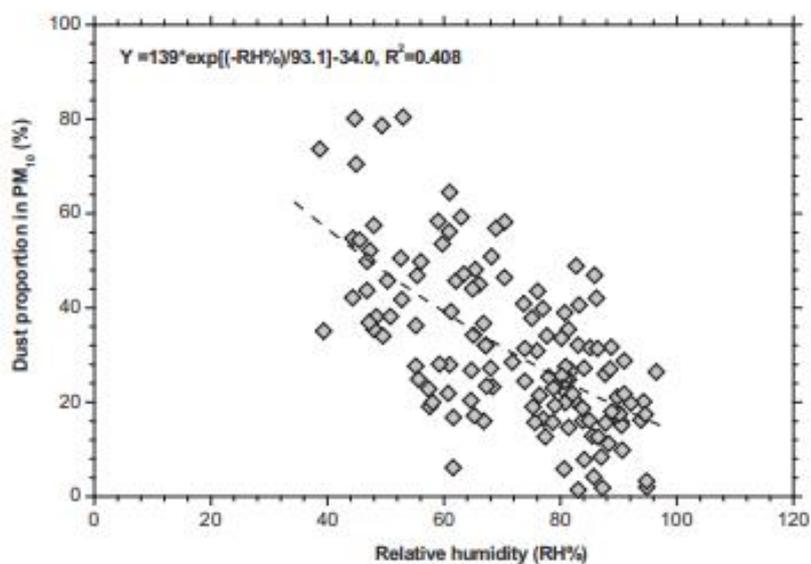


Рис.3. Скатерограмма и регрессионная кривая зависимости долевой величины минерального аэрозоля от значения RH [16]

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ВИДИМОСТИ В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ...

Для перехода от долевых оценок соответствующих типов аэрозоля к массовой эффективности ослабления оптического сигнала в первом приближении примем, что согласно результатам экспериментальных исследований, проведенных в [16], соответствующий показатель эффективности для сульфатного аэрозоля на порядок выше, чем у минерального аэрозоля. Следовательно, для указанного перехода можно воспользоваться следующим выражением [16]

$$Y = 0.240x \quad (8)$$

где Y – массовая эффективность ослабления;

x – долевая величина рассмотренных типов аэрозоля в PM_{10} .

Далее, для перехода от показателя массовой эффективности ослабления к видимости можно учесть приведенные в [16] зависимости:

$$VIS = a_1 \cdot Y^{-b_1} \quad (9)$$

где VIS – метеорологическая видимость;

$a_1, b_1 = \text{const.}$

Следовательно, вычисленный минимум по показателю Y приведет к максимуму в величине VIS .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЭФФЕКТА МАКСИМУМА ВИДИМОСТИ В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ ПРИ ВЫСОКОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ

Экспериментальное подтверждение эффекта максимума видимости в береговых зонах при высокой относительной влажности можно найти в работе [17]. Измерения проводились в зоне дельты реки Нигер, в береговом городе Порт – Харкорт, Лагоса [17]. Как отмечается в этой работе атмосфера города загружена как морским соевым аэрозолем, так и минеральным аэрозолем, поступающим с континента. Результаты экспериментальных исследований, проведенных в этой работе приведены на рис. 4 [17]. Как видно из этого рисунка при значении $RH=80\%$ наблюдается минимум ослабления оптического сигнала, т.е. максимальная видимость.

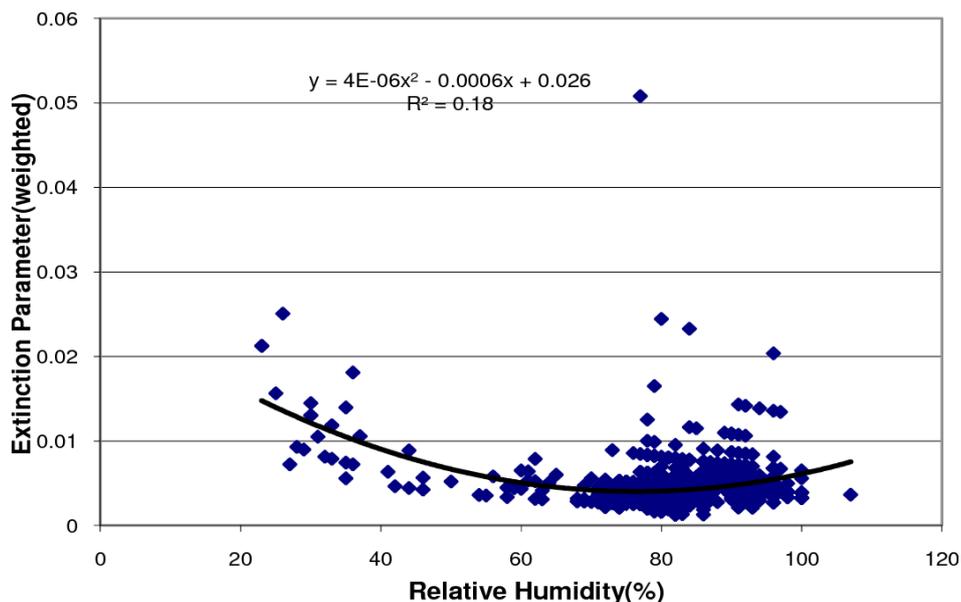


Рис.4. Экспериментально снятая регрессионная зависимость ослабления оптического сигнала от величины относительной влажности [17]

ВЫВОДЫ

Таким образом, показано, что в береговых индустриальных зонах возможен экстремальный характер зависимости видимости от относительной влажности. Теоретически предсказанный эффект максимума видимости в береговых зонах при высокой относительной влажности подтверждается результатами экспериментальных исследований, проведенных в [17].

В заключение сформулируем основные выводы проведенного исследования:

1. Проанализирован механизм взаимосвязи основных показателей и факторов, характеризующих влияние аэрозоля на метеорологическую видимость в береговой зоне под воздействием относительной влажности.
2. Показано, наличие экстремального характера зависимости метеорологической видимости в береговой зоне от относительной влажности.
3. Изложено экспериментальное подтверждение наличия зависимости экстремума видимости от относительной влажности.

Список литературы

1. WMO: International meteorological Vocabulary. World Meteorological Organization. WMO – NO. 182. Geneva, Switzerland. 1992.
2. WMO: Manual on the Global Observing System. Volume I – Global Aspects. World Meteorological Organization. WMO – No. 544. Geneva, Switzerland. 2015.
3. Doyle M, Darling S. Visibility trends in the UK 1950-1997// Atmos. Environ. 2002. Vol. 36. Pp. 3161-3172.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ВИДИМОСТИ В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ...

4. Harrison R. M., Jones A. M., Lawrence R. G. Major component composition of PM10 and PM2.5 from roadside and urban background sites// Atmos. Environ. 2004. Vol. 38. Pp. 4531-4538.
5. Zieger P., Fierz – Schmidhauzer R., Weingartner E., Baltensperger U. Effects of relative humidity on aerosol light scattering: results from different European sites// Atmos. Chem. Phys. 2013. Vol. 13. Pp. 10609-10631. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-13-10609-2013> .
6. Chylek P., Vieden G., Ngo D., Pinnick R. G., Klett J. D. Effect of black carbon on the optical properties and climate forcing of sulfate aerosols// J. Geophys. Res. 1995. Vol. 100(D8). Pp. 16325-16332.
7. Kotchenruther R. A., Hobbs P. V., Hegg D. A. Humidification factors for atmospheric aerosols off the mid – Atlantic coast of the United States// J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104 (2). Pp. 2239-2251.
8. Wang J., Jacob D. J., Martin S. T. Sensitivity of sulfate direct climate forcing to the hysteresis of particle phase transition// J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. D22207.
9. Rastak N., Silvergen S., Zieger P., Wideqvist U., Strom J., Svennhansson B., Maturilli M., Tesche M., Ekman A. M. L., Tunved P., Riipenen I. Seasonal variation of aerosol water uptake and its impact on the direct radiative effect at Ny – Alesund, Svalbard// Atmos. Chem. Discuss. 2014. Vol. 14. Pp. 7067-7111.
10. Qu. W., Wang J., Zhang X., Yang Z., Gao S. Effect of cold wave on winter visibility over eastern China// J. Geophys. Res. 2014.
11. Eck T. F., Holben B., Neid J. S., Sinyuk A., Dubovik O., Smirnov A., Giles D., Oneill N. T., Tsay S. C., Ji Q., Mandoos A. A., Khan M. R., Reid E. A., Schafer J. S., Sorokine M., Newcomb W., Slutsker I. Spatial and temporal variability of column – integrated aerosol optical properties in the southern Arabian Gulf and United Arab Emirates in summer// J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. D01204. <http://dx.doi.org/10.1029/2007JD008944> .
12. Smirnov A., Holben B., Dubovik O., Oneill N. T., Eck T. F., Westphal D. L., Goroch A. K., Pietras C., Slutsker I. Atmospheric aerosol optical properties in the Persian Gulf// J. Atmos. Sci. 2002. Vol. 59(3). Pp. 620-634.
13. Li. L., Chen J., Wang L., Melluki W., Zhou H. Aerosol single scattering albedo affected by chemical composition: an investigation using CRDS combined with MARGA// Atmos. Res. 2013. Vol. 124. Pp. 149-157.
14. Jung J., Lee H., Kim Y. J., Liu X., Zhang Y., Gu J., Fan S. Aerosol chemistry and the effect of aerosol water content on visibility impairment and radiative forcing in Guanzhou during the 2006 Pearl River Delta campaign// J. Environ. Manag. 2009. Vol. 90. Pp. 3231-3244.
15. Zhao X. J., Zhao P. S., Xu J., Meng W., Pu W. W., Dong F., He D., Shi Q. F. Analysis of a winter regional haze event and its formation mechanism in the North China Plain// Atmos. Chem. Phys. 2013. Vol. 13. Pp. 5685-5696.
16. Qu W. J., Wang J., Zhang X. Y., Wang D., Sheng L. F. Influence of relative humidity on aerosol composition: Impacts on light extinction and visibility impairment at two sites in ciast5al area of China// Atmospheric Research. 2015. Vol. 153. Pp. 500-511.
17. Okey K. Nwofor, Ph.D. Seasonal levels of meteorological visibility at Port – Harcourt Nigeria and Possible links to aerosol loading and humidification// The Pasific Journal of Science and Technology. November 2010. Vol.11. No.2. Pp.544. URL: <http://www.akamaiuniversity.us/PJST.htm> .

**RESEARCH OF EFFECT OF EXTREME METEOROLOGICAL VISIBILITY AT
THE COASTAL ZONES DUE TO INFLUENCE OF RELATIVE HUMIDITY ON
CONTENT OF ATMOSPHERIC AEROSOL**

Asadov H.H., Abaszadeh F.G.

*National Aerospace Agency, Baku city, Azerbaijan Republic
E-mail: asadzade@rambler.ru*

Meteorological visibility is determined as such a distance at which the contrast of object equals to limiting contrast of observer. Absorption of light by gas molecules and aerosol particles is major reason for decrease of visibility at day time.

The meteorological visibility is also under indirect effect of such atmospheric factors as temperature, relative humidity, wind speed, wind direction. Atmospheric gases and aerosol particles also impacts on visibility. Hygroscopicity of atmospheric aerosol is an additional factor leading to decrease of visibility. The reason is hydro feeling property of aerosol, i.e. ability of such type of aerosols to increase the geometrical sizes absorbing humidity contained in air. Such an increase of sizes leads to change of aerosols optical parameters. Results of multiple experimental researches show that humidification of atmospheric aerosol is accompanied by decrease of meteorological visibility.

It is explained by increase of absorbed and reflected part of optical radiation. The fact of humidification of aerosol is physically confirmed by strong positive correlation between total column amount of water vapors in atmosphere and optical depth of atmospheric aerosol. In the article the joint effect of hydrophobic and hydrophilic aerosol particles on meteorological visibility taking into account specificity of reaction of such type of aerosols on relative humidity of air.

The effect of such factor as wind direction is analyzed. When the wind direction is from sea to continent the hydrophilic sulphate and nitrate aerosol will dominate but if wind is directed from continent to sea the hydrophobic mineral aerosol will dominate. It is proved mathematically that in coastal industrial zones the extreme character of dependence of visibility on relative humidity is possible. The theoretically predicted effect of maximum visibility is confirmed by results of known experi

References

1. WMO: International meteorological Vocabulary. World Meteorological Organization. WMO – NO. 182. Geneva, Switzerland. 1992.
2. WMO: Manual on the Global Observing System. Volume I – Global Aspects. World Meteorological Organization. WMO – No. 544. Geneva, Switzerland. 2015.
3. Doyle M, Darling S. Visibility trends in the UK 1950-1997// Atmos. Environ. 2002. Vol. 36. Pp. 3161-3172.
4. Harrison R. M., Jones A. M., Lawrence R. G. Major component composition of PM10 and PM2.5 from roadside and urban background sites// Atmos. Environ. 2004. Vol. 38. Pp. 4531-4538.
5. Zieger P., Fierz – Schmidhauzer R., Weingartner E., Baltensperger U. Effects of relative humidity on aerosol light scattering: results from different European sites// Atmos. Chem. Phys. 2013. Vol. 13. Pp. 10609-10631. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-13-10609-2013> .
6. Chylek P., Vieden G., Ngo D., Pinnick R. G., Klett J. D. Effect of black carbon on the optical properties and climate forcing of sulfate aerosols// J. Geophys. Res. 1995. Vol. 100(D8). Pp. 16325-16332.
7. Kotchenruther R. A., Hobbs P. V., Hegg D. A. Humidification factors for atmospheric aerosols off the mid – Atlantic coast of the United States// J. Geophys. Res. 1999. Vol. 104 (2). Pp. 2239-2251.
8. Wang J., Jacob D. J., Martin S. T. Sensitivity of sulfate direct climate forcing to the hysteresis of particle phase transition// J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. D22207.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ВИДИМОСТИ В БЕРЕГОВЫХ ЗОНАХ...

9. Rastak N., Silvergen S., Zieger P., Wideqvist U., Strom J., Svennhansson B., Maturilli M., Tesche M., Ekman A. M. L., Tunved P., Riipenen I. Seasonal variation of aerosol water uptake and its impact on the direct radiative effect at Ny – Alesund, Svadbard// *Atmos. Chem. Discuss.* 2014. Vol. 14. Pp. 7067-7111.
10. Qu. W., Wang J., Zhang X., Yang Z., Gao S. Effect of cold wave on winter visibility over eastern China// *J. Geophys. Res.* 2014.
11. Eck T. F., Holben B., Neid J. S., Sinyuk A., Dubovik O., Smirnov A., Giles D., Oneill N. T., Tsay S. C., Ji Q., Mandoos A. A., Khan M. R., Reid E. A., Schafer J. S., Sorokine M., Newcomb W., Slutsker I. Spatial and temporal variability of column – integrated aerosol optical properties in the southern Arabian Gulf and United Arab Emirates in summer// *J. Geophys. Res.* 2008. Vol. 113. D01204. <http://dx.doi.org/10.1029/2007JD008944> .
12. Smirnov A., Holben B., Dubovik O., Oneill N. T., Eck T. F., Westphal D. L., Goroch A. K., Pietras C., Slutsker I. Atmospheric aerosol optical properties in the Persian Gulf// *J. Atmos. Sci.* 2002. Vol. 59(3). Pp. 620-634.
13. Li. L., Chen J., Wang L., Melluki W., Zhou H. Aerosol single scattering albedo affected by chemical composition: an investigation using CRDS combined with MARGA// *Atmos. Res.* 2013. Vol. 124. Pp. 149-157.
14. Jung J., Lee H., Kim Y., Liu X., Zhang Y., Gu J., Fan S. Aerosol chemistry and the effect of aerosol water content on visibility impairment and radiative forcing in Guanzhou during the 2006 Pearl River Delta campaign// *J. Environ. Manag.* 2009. Vol. 90. Pp. 3231-3244.
15. Zhao X. J., Zhao P. S., Xu J., Meng W., Pu W. W., Dong F., He D., Shi Q. F. Analysis of a winter regional haze event and its formation mechanism in the North China Plain// *Atmos. Chem. Phys.* 2013. Vol. 13. Pp. 5685-5696.
16. Qu W. J., Wang J., Zhang X. Y., Wang D., Sheng L. F. Influence of relative humidity on aerosol composition: Impacts on light extinction and visibility impairment at two sites in ciast5al area of China// *Atmospheric Research.* 2015. Vol. 153. Pp. 500-511.
17. Okey K. Nwofor, Ph.D. Seasonal levels of meteorological visibility at Port – Harcourt Nigeria and Possible links to aerosol loading and humidification// *The Pasific Journal of Science and Technology.* November 2010. Vol.11. No.2. Pp.544. URL: <http://www.akamaiuniversity.us/PJST.htm> .