

Исследование процессов осаждения аэрозолей на акваторию озера Байкал

И.В.Латышева, В.Л.Потемкин, В.Л.Макухин
Иркутский государственный университет,
ФГБУН Лимнологический институт СО РАН

Цель и методы исследования

Целью исследования являлась оценка интенсивности осаждения аэрозолей на акваторию озера Байкал по измеренным значениям их счётной концентрации.

Измерения проводились летом 2019 года с 25 июля по 3 августа на научно-исследовательском судне «Академик Коптюг» по маршруту Листвянка – Хужир – Северобайкальск – Усть-Баргузин – Байкальск – Листвянка.



Для расчётов скоростей осаждения аэрозолей
использовано аналитическое решение:

$$u_d = \frac{u^*}{J_1(r^+, \tau^+, Sc) + J_2(\tau^+, Sc)}.$$

(1)

$$J_1(r^+, \tau^+, Sc) = \frac{\exp(-1,2\tau^+)}{u_s^+(\tau^+)} \{1 - \exp[-u_s^+(\tau^+) \cdot I_{L-N}(r^+, Sc)]\}.$$

$$I_{L-N}(r^+, Sc) = 3,64(Sc)^{2/3}(a - b) + 39,$$

$$a = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{(10,92Sc^{-1/3} + 4,3)^3}{Sc^{-1} + 0,0609} \right] + \sqrt{3} \operatorname{arctg} \left[\frac{8,6 - 10,92Sc^{-1/3}}{10,92 \cdot \sqrt{3} \cdot Sc^{-1/3}} \right],$$

$$b = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{(10,92Sc^{-1/3} + r^+)^3}{Sc^{-1} + 7,669 \cdot 10^{-4}(r^+)^3} \right] + \sqrt{3} \operatorname{arctg} \left[\frac{2r^+ - 10,92Sc^{-1/3}}{10,92 \cdot \sqrt{3} \cdot Sc^{-1/3}} \right].$$

$$J_2(\tau^+, Sc) = \frac{1 - \exp \left\{ -\gamma(\tau^+, Sc) \left[1 + \frac{u_s^+(\tau^+)}{p(\tau^+)} \right] \right\}}{p(\tau^+) + u_s^+(\tau^+)}.$$

$$\gamma(\tau^+, Sc) = \frac{0,4611 \cdot Sc \cdot \tau^+ \cdot (1 + 0,3859 \cdot \tau^+)}{(1 + 0,1193 \cdot \tau^+) \cdot (1 + 0,1193 \cdot \tau^+ + 6,613 \cdot Sc)},$$

$$p(\tau^+) = \frac{\tau^+ \cdot (1 + 0,3859 \cdot \tau^+)}{65,06 \cdot (1 + 0,1193 \cdot \tau^+)^2}.$$

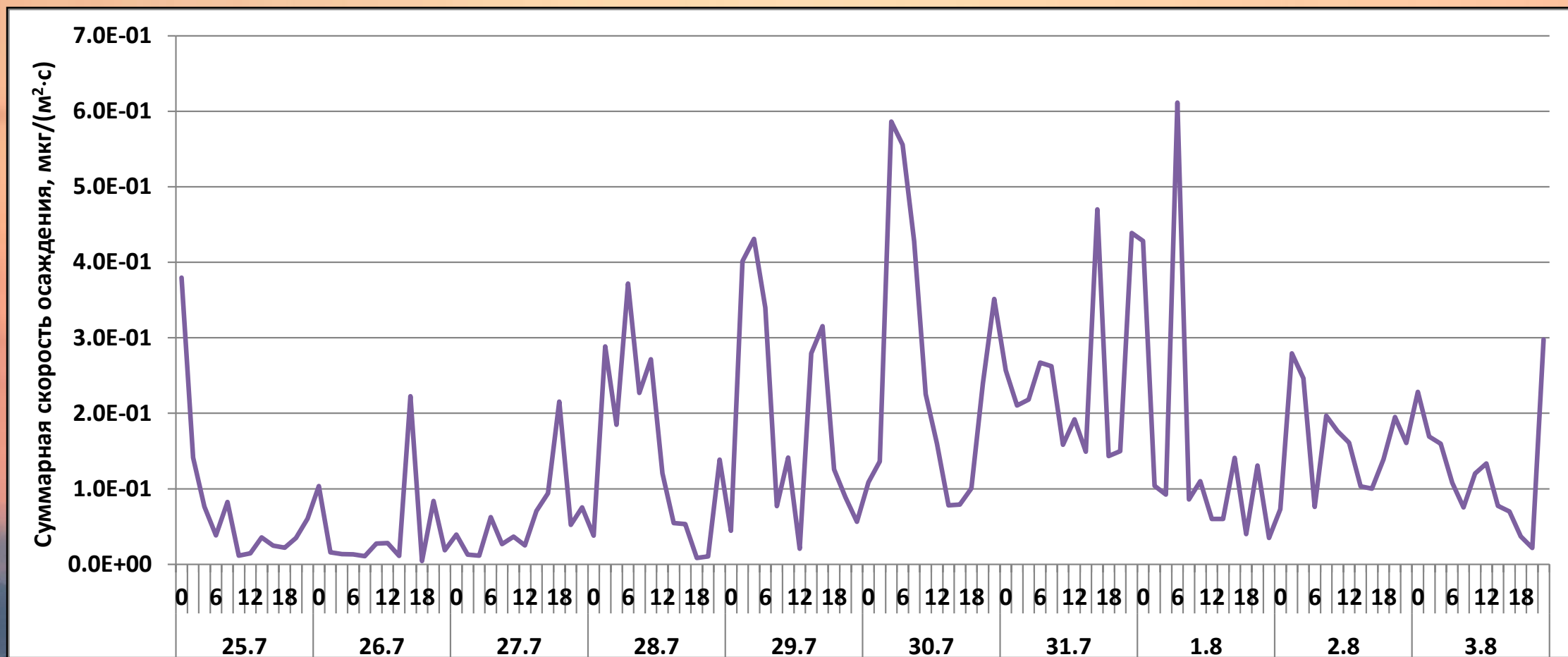
$$\tau^+ = \frac{\tau_p u^{*2}}{\nu}.$$

Здесь u_d – скорость осаждения; u^* – скорость трения; r^+ – безразмерный радиус частицы; τ^+ – безразмерное время релаксации частицы; Sc – число Шмидта; u_s^+ – скорость седиментации частицы; τ_p – время релаксации частицы; ν – молекулярная вязкость среды. Все величины представлены в единицах СИ.

Результаты исследования

Во время полевых работ на оз. Байкал с 25 июля по 3 августа 2019 г. были получены значения счётных концентраций аэрозолей (плотность 2 г/см^3) радиусом 0.3, 0.5, 1, 2.5, 5 и 10 мкм на всей акватории озера. Измерение концентраций аэрозолей сопровождалось фиксацией метеорологических характеристик. Используя аналитическое решение (1), были рассчитаны скорости осаждения аэрозолей каждой фракции, составившие в среднем 0.022, 0.06, 0.24, 1.48, 5.59 и 18.9 мм/с соответственно.

Суммарная интенсивность осаднения, в $\text{мкг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, аэрозолей всех измеренных радиусов на поверхность озера Байкал по данным экспедиционных исследований летом 2019 г. на научно-исследовательском судне.



Выводы

- Получены зависимости расчётной скорости осаждения по формулам (1) от температуры окружающей среды, плотности аэрозолей, скорости трения. При повышении температуры скорость осаждения уменьшается; при увеличении значений скорости трения скорость осаждения возрастает.
- Проведённые исследования показали, что пожары в Якутии вносят определённый вклад в концентрацию аэрозольных частиц в атмосфере Байкала и в интенсивность осаждения аэрозолей на акваторию озера.

Список литературы

- Алипченков В.М., Киселёв А.Е., Сорокин А.А. и др. Верификация моделей осаждения продуктов деления в первом контуре ЯЭУ (диффузия, термофорез, турбофорез) в расчётном комплексе СОКРАТ/ВЗ / Известия РАН. Энергетика. – 2013. – № 3. – С. 53-59.
2. Пискунов В.Н. Динамика аэрозолей. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 296 с.
3. Bayram A., Korobenko A. Modelling the transport of expelled cough particles using an Eulerian approach and the variational multiscale method / Atmospheric Environment. – 2022. – Vol. 271. – P. 1-16.
4. Chen Q.Y. Comparison of different k- ϵ models for indoor air flow computations / Numerical Heat Transfer B. – 1995. – Vol. 28. – № 3. – P. 353–369.
5. Chiou M.C., Chiu C.H., Chen H.S. Modeling particle deposition from fully developed turbulent flow / Applied Mathematical Modelling. – 2011. – Vol. 35. – № 7. – P. 3238–3254.
6. Fan H., Hua J. Experimental Research and Modeling of Particle Deposition in Ventilation Ducts / Advances in Mechanical Engineering. – 2016. – Vol. 2013. – P. 1-7.
7. Graham D.I., James P.W. Turbulent dispersion of particles using eddy interaction models / International Journal of Multiphase Flow. – 1996. – Vol. 22. – № 1. – P. 157–175.
8. Lai A.C.K., Chen F. Modeling particle deposition and distribution in a chamber with a two-equation Reynoldsaveraged Navier-Stokes model / Journal of Aerosol Science. – 2006. – Vol. 37. – № 12. – P. 1770–1780.
9. Lai A.C.K., Nazaroff W.W. Modeling indoor particle deposition from turbulent flow onto smooth surfaces / Journal of Aerosol Science. – 2000. – Vol. 31. – № 4. – P. 463–476.
10. Posner J.D., Buchanan C.R., Dunn-Rankin D. Measurement and prediction of indoor air flow in a model room / Energy and Buildings. – 2003. – Vol. 35. – № 5. – P. 515–526.
11. Sehmel G.A. Particle eddy diffusivities and deposition for isothermal flow and smooth surfaces / J. Aerosol Sci. – 1973. – Vol. 4. – P. 125–138.
12. Slinn W.G.N. Parameterization for resuspension and for Wet and Dry Deposition of Particles and Gases for Use in Radiation Dose Calculations / Nucl. Safety. – 1978. – Vol. 19(2). – P. 205–219.
13. Vohra K., Ghosh K., Tripathi S.N. and at. el. Thangamani I., Goyal P., Dutta A., Verma V. Submicron particle dynamics for different surfaces under quiescent and turbulent conditions / Atmospheric Environment. – 2017. – Vol. 152. – P. 330-344.
14. Zhang X., Fan Y., Wei S. and at. el. `Experimental study on particle deposition in pipelines in a fresh air system / Thermal Science. – 2021. – Vol. 25. – № 38. – P. 2319-2325.
15. Zhao B., Wu J. Modeling particle deposition from fully developed turbulent flow in ventilation duct / Atmospheric Environment. – 2006. – Vol. 40. – № 3. – P. 457–466.



БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!