

В.К. Аргучинцев, Е.В. Безрукова, В.Л. Макухин, В.А. Оболкин

Численное моделирование распространения пыльцы сосны (*Pinus silvestris*) в пограничном слое атмосферы Южного Прибайкалья

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск
Иркутский государственный университет*

Поступила в редакцию 29.11.2000 г.

Исследуются процессы распространения пыльцы сосны обыкновенной с помощью трехмерной нелинейной нестационарной модели переноса, диффузии и трансформации примесей. Источниками пыления являлись леса и сосновые рощи Олхинского плато, склонов Приморского хребта и хребта Хамар-Дабан. Приведено сравнение результатов расчетов и данных инструментальных измерений.

В результате многочисленных исследований установлено, что атмосферные аэрозоли оказывают значительное влияние на климат и здоровье населения. В их число входят и биоаэрозоли – биологические объекты, находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии и подчиняющиеся тем же закономерностям, которые присущи любым аэрозолям соответствующих размеров. Значительную часть самой крупной фракции биологического аэрозоля составляют пыльца и споры растений [1]. Исследование процессов переноса пыльцевых зерен растений не только позволяет расширить наши сведения о поведении аэрозолей в атмосфере, но и способствует выполнению палинологических и палеогеографических реконструкций, приводящих к пониманию механизмов формирования палеоклиматов, что поможет разобраться в изменениях современного климата и даже климата будущего.

В данной работе исследовались различные характеристики биоаэрозоля – пыльцы сосны обыкновенной – и процессы его распространения в регионе Южного Байкала.

Для побережья всей котловины оз. Байкал и примыкающих к ней склонов горных хребтов характерно преобладание горно-таежных лесов с небольшим по видовому разнообразию набором древесных пород: лиственница, сосна, кедр сибирский, ель, пихта, береза [2]. Площадь зоны гольцовой растительности занимает второе место после горной тайги [3]. В нижних частях горных склонов южных румбов, на о. Ольхон, в Приольхонье развиты участки степной растительности.

Материалом для исследования послужили пробы воздушного аэрозоля, полученные над юго-западным побережьем в 1996–1997 гг., и пробы воздушного аэрозоля над акваторией оз. Байкал. Стандартные предметные стекла с нанесенным на них специальным липким раствором были установлены на окраине пос. Лиственничное на высоте 2 м над поверхностью почвы. При отборе проб над акваторией Байкала стекла находились на борту научно-исследовательского судна. Перед экспозицией предметных стекол на них был нанесен красящий раствор определенного состава, содержащий протеиновый краситель, который,

реагируя с карбоксильной группой протеина, окрашивает протеинсодержащие, т.е. биологические, частицы в голубой цвет разной степени интенсивности, поэтому все пыльцевые зерна, как биологические частицы, имели насыщенный голубой цвет. Идентификация пыльцы и спор производилась до уровня рода для группы древесных и кустарниковых растений, до уровня семейства – для пыльцы трав и спор. Концентрация пыльцы и спор высчитывалась на всю поверхность стекла за все время его экспозиции.

Аэропалинологические исследования, проведенные на юго-западном побережье оз. Байкал в 1996 г., показали, что за вегетационный период, продолжающийся с середины мая до конца сентября, концентрация пыльцы сосны в воздухе изменяется в широких пределах [4]. Единичные пыльцевые зерна сосны *Pinus sylvestris* L., скорее всего поднятые с поверхности почвы стаивания снежного покрова, отмечены уже в апреле. В начале июня господствует пыльца рода *Pinus* (причем основную ее часть составляет пыльца сосны обыкновенной). Пыльца этого же рода преобладает и в первой декаде июля.

При аэропалинологических исследованиях на юго-западном побережье оз. Байкал в 1997 г. абсолютное господство пыльцы сосны отмечено с 10 июня до 4 июля. В середине августа значения концентрации пыльцы сосны невелики – около 200 пыльцевых зерен по сравнению с 1400–2500 зернами в июне и июле.

В целом максимальные значения числа пыльцевых зерен в образцах 1997 г. превышают аналогичные величины из образцов 1996 г. в среднем в 3 раза.

Второй важный результат исследований 1996–1997 гг. – максимумы концентрации пыльцы древесных растений в воздухе наблюдаются в разное время. Так, в 1996 г. пик цветения, а следовательно, нахождения в воздухе пыльцы древесных растений, приходился на период с 23 мая до 5 июля. В 1997 г. максимальные концентрации пыльцы отмечались раньше. Пик нахождения в воздухе пыльцы деревьев наблюдался в период с 12 мая до 30 июня.

Максимальные значения концентрации пыльцы над акваторией озера в июле 1997 г. составляли 270–780 пыль-

цевых зерен и отмечались с 11 по 14 июля. Абсолютно господствовала пыльца сосны. Анализ результатов полевых измерений 1996–1997 гг. показал, что значения концентраций пыльцевого материала в воздухе определяются состоянием погодных условий во время цветения растений.

Для исследования процессов распространения пыльцы сосны обыкновенной использовалась трехмерная нелинейная нестационарная модель распространения и трансформации примесей. Источниками пыления являлись леса и сосновые рощи Олхинского плато, склонов Приморского хребта и хребта Хамар-Дабан. Ареал сосны определялся на основе работы [2]. Характеристики поля ветра были получены в ходе экспедиционных работ и путем обработки данных измерений [5,6].

Численные эксперименты проводились в области площадью $500 \times 250 \text{ км}^2$ и высотой 3 км над поверхностью оз. Байкал. Шаги по времени и горизонтали составляли соответственно 150 с и 5 км; шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 1000 м над уровнем оз. Байкал он равнялся 20 м, далее – 250, 750 и 1000 м. Коэффициенты турбулентной диффузии рассчитывались с использованием соотношений полуэмпирической теории турбулентности [7].

Моделировались процессы переноса и осаждения на подстилающую поверхность пыльцы сосны обыкновенной за период с конца мая по июль 1997 г. Расчет массового расхода проводился следующим образом:

$$\text{с } 26.05 \text{ по } 20.06.97 \text{ г. } M = M_0 \sin(\tau\pi), \quad 0 \leq \tau \leq 3\pi/4,$$

$$\text{с } 21.06 \text{ по } 30.06.97 \text{ г. } M = M_0(1,7 - 1,33\tau), \quad 0,75 < \tau \leq 0,9,$$

$$\text{с } 1.07 \text{ по } 4.07.97 \text{ г. } M = M_0(5 - 5\tau), \quad 0,9 < \tau \leq 1.$$

Здесь $\tau = t/T$, где t – время; T – период цветения. При расчете M_0 предполагалось, что пыльцевая продукция сосны обыкновенной составляет порядка 2 кг с дерева и до 125 кг/га [8].

На рис. 1 приведены значения концентраций пыльцы сосны за указанный период в районе п. Лиственничное. Относительная ошибка не превысила 10%.

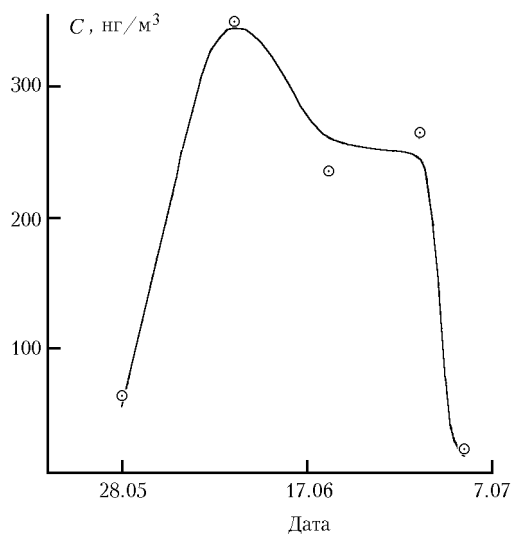


Рис. 1. Значения рассчитанных и измеренных концентраций пыльцы сосны обыкновенной за период с конца мая по июль 1997 г. в районе п. Лиственничное: — — рассчитанные, ○ — измеренные концентрации

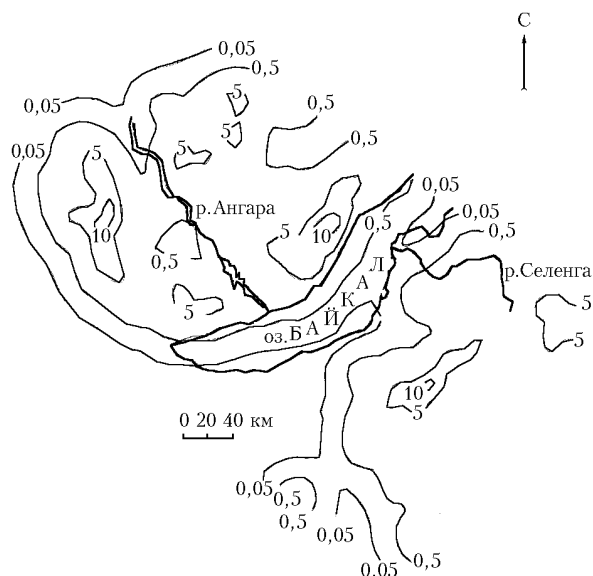


Рис. 2. Изолинии рассчитанной за период с 14 по 18 июня 2000 г. массовой скорости потока пыльцы сосны обыкновенной, $\text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$

На рис. 2 представлены изолинии массовой скорости потока пыльцы сосны. Полученное путем математического моделирования значение плотности массового расхода пыльцы в районе п. Лиственничное $555 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ близко к измеренному в этот же период в том же районе – $654 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, относительная погрешность составила менее 20%.

Рис. 3 иллюстрирует распределение рассчитанной по модели массовой скорости потока пыльцы сосны за период с июня по июль 2000 г. Масса осевшей пыльцы сосны на зеркало южной части озера площадью 9000 км^2 в летний сезон 2000 г. составила 1000 кг.

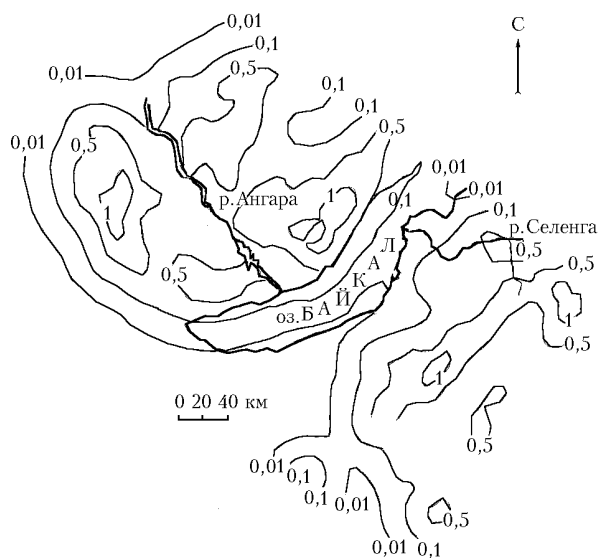


Рис. 3. Изолинии рассчитанной за июль–июль 2000 г. массовой скорости потока пыльцы сосны обыкновенной, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сезон})$

Таким образом, сравнение результатов расчетов и данных инструментальных измерений показало их удовлетворительное качественное и количественное соответствие.

Работа поддержана РФФИ, проект № 98-05-64021, и грантом Минобразования РФ № 97-0-13. 3–12.

1. *Matthias-Maser S., Jaenicke R.* Examination of atmospheric bioaerosol particles with radii $> 0,2 \mu$ // *Aerosol Sci.* 1994. V. 25. N 8. P. 1605–1613.
2. *Байкал*: Атлас. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1993. 160 с.
3. *Моложников В.Н.* Растительные сообщества Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1986. 270 с.
4. *Безрукова Е.В.* Первые результаты аэропалинологических исследований на территории Байкальского региона // IX Всероссийская палинологическая конф. «Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия»: Тезисы докл. М.: Изд. ИГиРГИ, 1999. С. 18–20.
5. *Метеорологические* ежемесячники. Вып. 22. Ч. 2. Новосибирск, 1985–1994.
6. *Метеорологические* ежемесячники. Вып. 23. Ч. 2. Чита, 1985–1994.
7. *Аргучинцев В.К., Макухин В.Л.* Моделирование вертикального распределения концентраций соединений серы и азота в пограничном слое атмосферы Южного Прибайкалья // *Оптика атмосф. и океана.* 1998. Т. 11. № 6. С. 594–597.
8. *Головки В.В., Куценогий П.К., Киров Е.И., Куценогий К.П., Истомин В.Л., Рыжаков В.А.* Пыльцевая компонента атмосферного аэрозоля в окрестностях Новосибирска // *Оптика атмосф. и океана.* 1998. Т. 11. № 6. С. 645–649.

V.K. Arguchintsev, E.V. Bezrukova, V.L. Makukhin, V.A. Obolkin. **Numerical simulation of pine pollen (*Pinus silvestris*) spreading within boundary layer of the atmosphere of southern Baikal territories.**

The processes of pine pollen spreading are studied using the three-dimensional nonstationary model of transport, diffusion, and transformation of impurities. The sources of pollen are forests and pine groves of the Olkhin plateau, slopes of Primorsk mountain ridge, and Khamar-Daban mountain ridge. The results of calculations and measurements are compared.