МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГЕТЕРОГЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫХ КАПЕЛЬ В ОБЛАКАХ

Чукин В.В., Платонова А.С., Алдошкина Е.С.

ГОУ ВПО "Российский государственный гидрометеорологический университет"

Измерения показывают, что в тропосферных облаках капли могут находиться в жидком состоянии и при отрицательной температуре. Фазовое равновесие системы вода-лед очень хорошо изучено, о чем свидетельствуют многочисленные данные. Имеется подробное теоретическое описание этого состояния, основанное на принципах термодинамики. Однако совершенно иная ситуация складывается при описании скорости фазового перехода. Согласно классической теории фазовый переход инициируется образованием ядра твердой фазы внутри жидкой фазы. Для дальнейшего роста и завершения фазового перехода эти ядра должны быть больше критического размера, то есть должен быть преодолен энергетический барьер. Количество ядер критического размера, образующихся в единице объема за единицу времени, является мерой скорости образования ледяных ядер.

Существуют два механизма кристаллизации переохлажденных капель в облаках: в результате гомогенного и гетерогенного образования ледяных ядер. Гомогенное замерзание переохлажденных капель раствора играет существенную роль при низких температурах в облаках верхнего яруса. В нижней и средней тропосфере кристаллы льда появляются в основном за счет гетерогенного механизма в результате образования ледяных ядер на поверхности инородных частиц, находящихся в объеме переохлажденных капель. Наличие растворенных веществ в капле приводит к уменьшению скорости ядрообразования и вероятности кристаллизации капли. Присутствие инородных частиц в переохлажденных каплях приводит к увеличению температуры замерзания капель. Не многие атмосферные аэрозоли могут служить так называемыми ядрами кристаллизации. На процесс гетерогенного замерзания сильно влияют такие параметры инородных частиц, как их размер, концентрация и поверхностные свойства, учитываемые с помощью параметра, называемого удельной поверхностной энергией.

В результате численного моделирования была получена зависимость температуры гетерогенной кристаллизации переохлажденных капель от удельной поверхностной энергии инородных частиц. При моделировании использовались экспериментальные данные для крупных переохлажденных капель с погруженными в них частицами: биологические частицы (пыльца и бактерии) и сажа (продукты горения керосина), а также данные для переохлажденных капель средних размеров с инородными частицами, такими как: минеральная пыль (каолинит и монтмориллонит) и сажа (продукты горения ацетилена). Полученные данные показали, что уменьшение значений удельной поверхностной энергии инородных частиц в переохлажденных каплях ведет к повышению температуры кристаллизации. Для больших капель (более 250 мкм) наиболее благоприятные условия льдообразования складываются на поверхности бактерий, для которых удельная поверхностная энергия равна 9,0E-12 Дж/м. Для капель, с размерами от 20 до 50 мкм, процесс кристаллизации активнее происходит на поверхности каолинита, для которого удельная поверхностная энергия равна 8,6E-12 Дж/м.

Также была получена зависимость температуры кристаллизации слоистой и конвективной облачности от значений удельной поверхностной энергии инородных частиц. Вычисления показали, что наиболее благоприятные условия для гетерогенного замерзания переохлажденных капель складываются в слоистой облачности.

Полученные значения удельной поверхностной энергии используются в разработанной нами модели гомогенной и гетерогенной кристаллизации капель водных растворов [1, 2, 3], основанной на классической теории ядрообразования и предположении о подобии зависимостей температуры кристаллизации и температуры плавления от активности воды.

Сравнение результатов моделирования процесса гомогенной и гетерогенной кристаллизации капель водных растворов с данными экспериментов показывают довольно хорошее согласие, что позволяет рекомендовать полученные зависимости для использования при численном моделировании микрофизических процессов в облаках.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Кадры» ГК № П1463.

Литература

1. Чукин В.В., Платонова А.С. Кристаллизация переохлажденных капель водных растворов // Естественные и технические науки. - 2009. - №4. - С.231-236.

2. Чукин В.В., Платонова А.С. Сравнительный анализ двух методов расчета скорости гомогенного льдообразования в водных растворах // Современные проблемы науки. Сборник материалов 2-ой международной научно-практической конференции: 27-28 марта 2009. – Тамбов, 2009. - С.58-62.

3. Чукин В.В., Платонова А.С. Скорость гомогенного льдообразования в водных растворах // Ученые записки РГГМУ. – 2009. – №9. – С.70-79.