

АЙВАЗЯН ГРИГОРИЙ

*Кандидат химических наук, доцент ГГУ
Гаварский государственный университет
электронная почта: grikorgjan@gmail.com*

АКОПЯН АЙАСТАН

*Кандидат технических наук, доцент НАУА
Национальный аграрный университет Армении
электронная почта: hayastan.akobyan.53@gmail.com*

Успехи борьбы с градом в настоящее время невелики. Видимо, это определяется недостаточностью теоретических исследований процессов градообразования, хотя в этой области достигнуты значительные успехи. В настоящей работе предлагается математическая модель роста градин по одному из основных механизмов роста – гетерокоагуляции.

В нашем первом сообщении было показано, что в процессе роста градин на начальных стадиях коагуляции микрокапелек воды на поверхности частиц зародышей градообразования, в отсутствие агломерации этих зародышей для вероятностей числа оседающих микрокапель воды имеет место распределение Пуассона.

На более поздних стадиях роста градин кинетические закономерности осаждения микрокапель воды на поверхности частиц зародышей града иные, поскольку по мере заполнения поверхности зародышей скорость процесса будет снижаться, т.к. уменьшается доля свободной поверхности.

Динамика гетерокоагуляции микрокапель воды на зародышах града на стадиях достаточно высокого заполнения поверхности коагуляции может быть проанализирована при учете степени покрытия этой поверхности.

Математический анализ такой модели позволяет представить соотношение, позволяющее связать члены распределения вероятностей числа осевших на зародыше микрокапель с учетом того факта, что по мере заполнения поверхности частиц протекание процесса замедляется.

В результате нашей работы можно утверждать, что рассмотренные математические модели динамики роста градин за счет гетерокоагуляции микрокапель воды на поверхности зародышевых частиц позволяют описать этот процесс на различных стадиях его протекания, в том числе с учетом отрыва от поверхности осевших частиц.

Ключевые слова: град, зародыши градин, динамика роста.

В нашем первом сообщении было показано, что в процессе роста градин на начальных стадиях коагуляции микрокапелек воды на поверхности частиц зародышей градообразования, в отсутствие агломерации этих зародышей для вероятностей числа оседающих микрокапель воды имеет место распределение Пуассона.

На более поздних стадиях роста градин кинетические закономерности осаждения микрокапель воды на поверхности частиц зародышей града иные, поскольку по мере заполнения

поверхности зародышей скорость процесса будет снижаться, т.к. уменьшается доля свободной поверхности.

Динамика гетерокоагуляции микрокапель воды на зародышах града на стадиях достаточно высокого заполнения поверхности коагуляции может быть проанализирована при учете степени покрытия этой поверхности. Пусть θ – доля занятой поверхности частицы зародыша.

В общем случае θ зависит от числа уже осевших микрокапель, поэтому можно записать:

$$\theta = i/i_m \quad (1)$$

где: i – число микрокапель на частице зародыша

i_m – максимальное число микрокапель, которое может осесть на частице.

С учетом степени заполнения (1) кинетические уравнения роста градин на стадиях достаточно высокого заполнения поверхности зародышей микрокаплями можно записать в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{dQ}{d\tau} = -k_1 Q \sum_{i=0}^{i_m} [(1 - i/i_m) N_i] \quad (2)$$

$$\frac{dN_0}{d\tau} = -k_1 Q N_0 \quad (3)$$

$$\frac{dN_1}{d\tau} = k_1 Q N_0 - k_1 Q N_1 (1 - 1/i_m) \quad (4)$$

$$\frac{dN_2}{d\tau} = k_1 Q N_1 (1 - 1/i_m) - k_1 Q N_2 (1 - 2/i_m) \quad (5)$$

.....

$$\frac{dN_i}{d\tau} = k_1 Q N_{i-1} [1 - (i-1)/i_m] - k_1 Q N_i (1 - i/i_m) \quad (6)$$

Интегрирование уравнения (2) при начальном условии $Q_{(\tau=0)} = Q_{in}$ и с учетом $i_m N_{im} = Q_{km}$ и $\sum_i N_i = N_{im}$ приводит к зависимости

$$Q = Q_{in} [(Q_{in}/Q_{km}) - 1] / \{ (Q_{in}/Q_{km}) - \exp [-k_1 N_{in} (Q_{in}/Q_{km} - 1) \tau] \} \quad (7)$$

где Q_{km} – максимальное число микрокапель, которое может осесть на зародышевых частицах в единице объема.

Интегрированием (3) после подстановки в него (6) и при начальном условии

$N_{0(\tau=0)} = N_{in}$ получается уравнение:

$$\frac{N_0}{N_{in}} = \exp [k_1 Q_{km} (1 - Q_{in}/Q_{km}) \tau] \left\{ \frac{Q_{in}/Q_{km} - \exp [K_1 N_{in} (1 - Q_{in}/Q_{km}) \tau]}{Q_{in}/Q_{km} - 1} \right\}^{-Q_{km}/N_0} \quad (8)$$

Из уравнений (3), (4) вытекает, что:

$$dN_i / dN_0 = -1 + (1 - 1/i_m) N_i / N_0 \quad (9)$$

Интегрирование (9) при начальном условии $N_{i(N_0=N_{in})} = 0$ ($i \geq 1$) приводит к зависимости:

$$N_i = N_0 [(N_{in}/N_0)^{1/i_m} - 1] i_m \quad (10)$$

Из (3) и (5) следует:

$$\frac{dN_2}{dN_0} = -(1 - 1/i_m)N_1 / N_0 + (1 - 2/i_m)N_2 / N_0 \quad (11)$$

Интегрируя (11) после подстановки (10) при начальном условии

$$N_{i(N_0=N_{in})} = 0, \quad i \geq 1$$

можно получить уравнение

$$N_2 = N_0 [(N_{in} / N_0)^{1/i_m} - 1]^2 i_m (i_m - 1) / 2 \quad (12)$$

Аналогично, можно показать, что

$$N_i = N_0 [(N_{in} / N_0)^{1/i_m} - 1]^i (\prod_{k=0}^{i-1} (i_m - k)) / i \quad (13)$$

Выражение (13) представляет собой соотношение, позволяющее связать члены распределения вероятностей числа осевших на зародыше микрокапель с учетом того факта, что по мере заполнения поверхности частиц протекание процесса замедляется.

Хотя зависимости (7) и (13) позволяют описать процесс осаждения микрокапель на частицах зародышей на поздних стадиях процесса, они не учитывают, что с увеличением числа осевших микрокапель возрастает возможность их отрыва от поверхности коагуляции. Между тем, однозначно, что такой отрыв имеет место [1].

Учитывая возможность отрыва микрокапель от поверхности коагуляции, запишем, исходя из уравнения (2):

$$\frac{dQ}{d\tau} = -k_1 Q N_{in} [1 - \sum_i i N_i / (i_m N_{in})] + k_2 \sum_i i N_i \quad (14)$$

где k_2 – константа скорости отрыва микрокапли от поверхности коагуляции.

Если число осевших на зародыше микрокапель в единице объема системы обозначить как $Q_k = \sum_i i N_i$, то из (14) получается уравнение:

$$\frac{dQ}{d\tau} = -k_1 Q N_{in} [1 - Q_k / (i_m N_{in})] + k_2 Q_k \quad (15)$$

Таким образом, рассмотренные модели динамики роста градин за счет гетерокоагуляции микрокапель воды на поверхности зародышевых частиц позволяют описать этот процесс на различных стадиях его протекания, в том числе с учетом отрыва от поверхности осевших частиц.

Список использованной литературы

1. Хоргуани В. Г., Микрофизика зарождения и роста града, М., Гидрометеиздат, 1984, 188с.

ԿԱՐԿՏԱՀԱՏԻԿՆԵՐԻ ԱՃԸ ՀԱՇՎԻ ԱՌՆԵԼՈՎ՝ ԿՈԱԳՈՒԼՅԱՑՄԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ԾԱԾԿՄԱՆ ԱՍՏԻՃԱՆԸ

ԱՅՎԱԶՅԱՆ ԳՐԻԳՈՐԻ
Գալվառի պերական համալսարան,

քիմիական գիտությունների թեկնածու, ԳՊՀ դոցենտ

Էլփոստ՝ grikorgjan@gmail.com

ՀԱԿՈՐՅԱՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆ

Հայաստանի ազգային ագրարային համալսարան,

տեխնիկական գիտությունների թեկնածու, ՀԱԱՀ դոցենտ

Էլփոստ՝ hayastan.hakobyan53@gmail.com

Կարկտի դեմ պայքարում հաջողություններն այս պահին քիչ են: Ըստ երևույթին, դա պայմանավորված է կարկտի ձևավորման գործընթացների տեսական ուսումնասիրությունների անբավարարությամբ, թեև այս ոլորտում զգալի առաջընթաց է գրանցվել: Այս հոդվածում մենք առաջարկում ենք կարկտահատիկների աճի մաթեմատիկական մոդել՝ ըստ աճի հիմնական մեխանիզմներից մեկի՝ հետերոկոագուլյացման:

Մեր առաջին հաղորդումում ցույց տվեցինք, որ կարկտի աճի ժամանակ նրա ձևավորման միջուկների մասնիկների մակերեսին ջրի միկրոկաթիլների կոագուլյացման սկզբնական փուլերում այդ միջուկների ագլոմերացիայի բացակայության դեպքում ջրի միավորող միկրոկաթիլների թվի հավանական բաշխումը տեղի է ունենում ըստ Պուասոնի:

Կարկտահատիկների աճի հետագա փուլերում կարկտի միջուկների մասնիկների մակերեսին ջրի միկրոկաթիլների նստեցման կինետիկ օրինաչափությունները այլ են, գործընթացի արագությունը կնվազի, քանի որ միջուկների ազատ մակերեսը նվազում է:

Կարկտի միջուկների վրա ջրի միկրոկաթիլների հետերոկոագուլյացման դինամիկական բավականաչափ բարձր ծածկվածության աստիճաններում կարելի է վերլուծել՝ հաշվի առնելով այդ աստիճանը:

Նման մոդելի մաթեմատիկական վերլուծությունը թույլ է տալիս ներկայացնել մի հարաբերություն, որը կապում է միջուկի մակերեսին նստած միկրոկաթիլների քանակի հավանականության բաշխումը՝ հաշվի առնելով այն փաստը, որ ըստ մակերեսը լցման գործընթացը դանդաղում է:

Մեր աշխատանքի արդյունքում կարելի է պնդել, որ սաղմնային մասնիկների մակերևույթի վրա ջրի միկրոկաթիլների հետերոկոագուլյացման հետևանքով կարկտի աճի դինամիկայի դիտարկված մաթեմատիկական մոդելները հնարավորություն են տալիս նկարագրել այս գործընթացը իր տարբեր փուլերում՝ այդ թվում՝ հաշվի առնելով նստած մասնիկների հեռանալը միջուկի մակերեսից:

Բանալի բառեր՝ կարկուտ, կարկուտի միջուկներ, աճի դինամիկա:

GROWTH OF HAILSTONES TAKING INTO ACCOUNT THE DEGREE OF COVERAGE OF THE COAGULATION SURFACE

AIVAZYAN GRIGORY

PhD in Chemical Sciences,

Associate Professor of GSU

e-mail: grikorgjan@gmail.com

HAKOBYAN HAYASTAN

PhD in Technical Sciences,

Associate Professor of ANAU.

e-mail: hayastan.akobyan.53@gmail.com

In our first report, it was shown that during the growth of hailstones at the initial stages of coagulation of water microdroplets on the surface of particles of hail formation nuclei, in the absence of agglomeration of these nuclei, distribution for the probabilities of the number of water microdroplets takes place according to Poisson.

At the later stages of hailstone growth, the kinetic regularities of the deposition of water microdroplets on the surface of particles of hail nuclei are different, since as the surface of the nuclei is filled, the rate of the process will decrease, because the proportion of free surface decreases.

As a result of our work, it can be argued that the considered mathematical models of the dynamics of hailstone growth due to heterocoagulation of water microdroplets on the surface of embryonic particles make it possible to describe this process at various stages of its course, including taking into account the separation of settled particles from the surface.

Key words: *hail, hailstone nuclei, growth dynamics.*

Հոդվածը ներկայացվել է խմբագրական խորհուրդ 24.12.2022թ.:

Հոդվածը գրախոսվել է 28.12.2022թ.:

Ընդունվել է տպագրության 29.03.2023թ.: