

2.

**ՖԻԶԻԿԱՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ԵՎ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ
PHYSICAL, MATHEMATICAL AND TECHNICAL SCIENCES
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

ДИНАМИКА РОСТА ГРАДИН ПО МЕХАНИЗМУ ГЕТЕРОКОАГУЛЯЦИИ

УДК 551.510

DOI: 10.56246/18294480-2023.14-04

ԱЙՎԱԶՅԱՆ ԳՐԻԳՈՐԻՅ

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

ԱԿՕՅԱՆ ԱՅԱՏԱՆ

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

Градобития наносят значительный ущерб сельскому хозяйству. 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. Физический механизм этого последнего явления очень сложен и до сих пор еще не ясен. Целью настоящей работы отнюдь не является обсуждение превалирования того или иного механизма роста градин. Работа является попыткой представления кинетической схемы гетерокоагуляции микрокапелек воды в облаке на поверхности естественно зародившейся или искусственно созданной твердой фазы (зародышей града).

В настоящей работе, на основе предлагаемой математической модели, показано, что на начальных стадиях гетерокоагуляции, в отсутствие агломерации зародышей для вероятностей числа осевших на зародыше 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.

Ключевые слова: град, зародыши градин, динамика роста.

Градобития на сегодняшний день приносят огромные убытки сельскому хозяйству во всем мире, несмотря на разработанные и активно применяемые самые различные противоградовые мероприятия [1]. Одной из причин пока еще недостаточной эффективности борьбы с градом является недостаточность фундаментальных представлений о процессах зарождения и роста градин и это несмотря на то, что теоретические разработки в области, например, коагуляционных процессов в облаках, разрабатывались еще Смолюховским в начале прошлого века [2].

В настоящее время можно считать установленным, что решающим фактором образования осадков (в том числе града) является наличие твердых частиц в облаке [3]. Эти твердые частицы могут быть как естественного, так и искусственного происхождения [4]. Именно на них происходит рост градин. Согласно общепринятым представлениям [5], этот рост происходит по следующим трем механизмам:

1. Из окружающей среды (объема облака) на поверхности твердой частицы происходит адсорбция молекул воды, имеет место непосредственный переход “пар-лед”, т.н. сублимация водяного пара, не исключается также переход “пар-жидкость-лед”

2. Твердая частица вызывает появление ледяной фазы путем кристаллизации переохлажденной капли, внутри которой она находится.

3. Рост градины является результатом столкновения твердой частицы с переохлажденной микрокаплей воды, т.е. происходит контактная нуклеация (в терминах коллоидной химии – гетерокоагуляция, гетероадагуляция). После гетерокоагуляции микрокапелек воды имеет место их кристаллизация. Этим и обусловлено наличие т.н. “рыхлых” слоев градин плотностью 0.4 – 0.86 г/см³[5].

Физический механизм этого последнего явления очень сложен и до сих пор еще не ясен. Однако, факт, что, например, некоторые твердые частицы

(глины [5]) при контакте вызывают кристаллизацию при более высокой температуре, чем при остальных двух механизмах роста градин.

Целью настоящей работы отнюдь не является обсуждение превалирования того или иного механизма роста градин. Работа является попыткой представления кинетической схемы гетерокоагуляции микрокапелек воды в облаке на поверхности естественно зародившейся или искусственно созданной твердой фазы (зародышей града).

Итак, мы рассматриваем гетерокоагуляцию (контактную нуклеацию) микрокапель переохлажденной воды на поверхности частиц твердой фазы (зародышей) вне зависимости от природы последних и вне зависимости от процессов кристаллизации в переохлажденных каплях, коагулированных на зародышах града, – априори их скорость существенно выше скорости коагуляционных процессов.

Введем обозначения:

Q – число микрокапель в единице объема,

k_1 – константа взаимодействия микрокапли с зародышем (назовем ее константой нуклеации),

τ – время,

N_i – число зародышей, на поверхности которых содержится i микрокапель, в единице объема.

На начальной стадии процесса доля “покрытой” поверхности частиц зародышей коагуляции относительно невелика. Если при этом агрегация самих зародышей незначительна, то кинетика взаимодействий «микрокапли воды – зародыши» может быть описана системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dQ}{d\tau} = -k_1 Q \sum_i N_i \quad (1)$$

$$\frac{dN_0}{d\tau} = -k_1 Q N_0 \quad (2)$$

$$\frac{dN_1}{d\tau} = -k_1 Q N_0 - k_1 Q N_1 \quad (3)$$

.....

$$\frac{dN_i}{d\tau} = -k_1 Q N_{i-1} - k_1 Q N_i \quad (4)$$

Так как число столкновений микрокапель с зародышами пропорционально произведению численных концентраций этих частиц.

Если интегрировать уравнение (1) при начальном условии

$$Q_{(\tau=0)} = Q_{in} \quad (5)$$

и с учетом того, что $\sum_i^n N_i = N_{in}$, то получается зависимость:

$$Q = Q_{in} \exp(-k_1 N_{in} \tau) \quad (6)$$

Где Q_{in} и N_{in} – начальное число микрокапель и зародышей в единице объема соответственно.

Среднее число микрокапель, коагулированных к моменту времени τ на одной частице

$$\bar{Q}_k = (Q_{in} - Q) / N_{in} \quad (7)$$

Интегрированием уравнения (2) после подстановки в него (6) при начальном условии

$$N_0_{(\tau=0)} = N_{in} \quad (8)$$

и с учетом (8) можно получить выражение:

$$N_0 = N_{in} \exp(-\bar{Q}_k) \quad (9)$$

Интегрированием цепи дифференциальных уравнений (2) – (4) при начальном условии:

$$N_{i(N_0=N_{in})} = 0, \quad i \geq 1 \quad (10)$$

получена зависимость:

$$N_i = (N_0 / i!) [\ln(N_{in}/N_0)]^i \quad (11)$$

Из (11) с учетом (9)

$$N_i = N_{in} \exp((- \bar{Q}_k) \bar{Q}_k^i) / i! \quad (12)$$

Для отдельных значений дискретной случайной величины, – числа коагулированных на частице микрокапель i , – вероятность может быть описана выражением:

$$P(i, \bar{Q}_k) = N_i / N_{in}, \quad i = 0, 1, 2, \dots$$

откуда, с учетом (12), следует:

$$P(i, \bar{Q}_k) = \exp(-\bar{Q}_k) \bar{Q}_k^i / i! \quad (13)$$

Выражение (13) соответствует распределению Пуассона [6].

Таким образом, на начальных стадиях гетерокоагуляции, в отсутствие агломерации зародышей для вероятностей числа осевших на зародыше 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.

Список использованной литературы

1. **Качурин Л. Г.**, Физические основы воздействия на атмосферные процессы // Л., Гидрометеоиздат., 1990, 465 с.
2. **Волощук В. М.**, Кинетическая теория коагуляции // Л., Гидрометеоиздат., 1984, 283 с.
3. **Матвеев Л. Т.**, Курс общей метеорологии. Физика атмосферы, Л., Гидрометеоиздат, 1984, 752 с.
4. **Хргиан А. Х.**, Физика атмосферы // Л., Гидрометеоиздат, 1969, 648 с.
5. **Хоргуани В. Г.**, Микрофизика зарождения и роста града // М., Гидрометеоиздат., 1984, 188с.
6. **Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.**, Теория вероятностей и ее инженерные приложения // М., 2000, 135 с.

**ԿԱՐԿՈՒՏԻ ԱՃԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ ԸՍՏ ՀԵՏԵՐՈԿՈՒԳՈՒԼՅԱՑՄԱՆ
ՄԵԽԱՆԻԶՄԻ**

ԱՅՎԱԶՅԱՆ ԳՐԻԳՈՐԻ

*Գավառի պետական համալսարան,
քիմիական գիտությունների թեկնածու, ԳՊՀ դոցենտ*
Էլփոստ՝ grikorgjan@gmail.com

ՀԱԿՈԲՅԱՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆ

*Հայաստանի ազգային ագրարային համալսարան,
տեխնիկական գիտությունների թեկնածու, ՀԱԱՀ դոցենտ*
Էլփոստ՝ hayastan.hakobyan53@gmail.com

Կարկտահարությունները զգալի վնաս են հասցնում գյուղատնտեսությանը: Կարկտի դեմ պայքարում հաջողությունները ներկայումս քիչ են: Ըստ երևույթին, դա պայմանավորված է կարկտագոյացման գործընթացների տեսական ուսումնասիրությունների անբավարարությամբ, թեև այս ոլորտում զգալի առաջընթաց է գրանցվել: Այս հոդվածում մենք առաջարկում ենք կարկտաքարերի աճի մաթեմատիկական մոդել, որը հիմնված է աճի հիմնական մեխանիզմներից մեկի՝ հետերոկոագուլյացիայի վրա: Այս վերջին երևույթի ֆիզիկական մեխանիզմը շատ բարդ է և դեռևս բացահայտված չէ: Ուսումնասիրության նպատակը կարկտահարության այս կամ այն մեխանիզմի տարածվածությունը քննարկելը չէ: Փորձ է արվում ներկայացնելու ջրի միկրոկաթիլների հետերոկոագուլյացիայի կինետիկ սխեման ամպի մեջ բնականորեն առաջացած կամ արհեստականորեն ստեղծված պինդ փուլի (կարկտի մանրէներ) մակերեսի վրա:

Առաջարկվող մաթեմատիկական մոդելի միջոցով ցույց է տրված, որ հետերոկոագուլյացիայի սկզբնական փուլերում միջուկների ագլոմերացիայի բացակայության դեպքում Պուասոնի բաշխումը տեղի է ունենում սաղմի վրա ջրի միկրոկաթիլների քանակի նստեցման հավանականությունների համար:

Կարկտահատիկի աճի հետագա փուլերում կարկտի միջուկների մասնիկների մակերեսին ջրի միկրոկաթիլների նստեցման կինետիկ օրինաչափությունները տարբեր են, քանի որ միջուկների մակերեսի լցվածության գործընթացի արագությունը կնվազի այնպես, ինչպես ազատ մակերեսի համամասնությունն է նվազում:

Բանալի բառեր՝ կարկուտ, կարկուտի միջուկներ, աճի դինամիկա:

DYNAMICS OF HAILSTONE GROWTH ACCORDING TO THE MECHANISM OF HETEROCOAGULATION

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

Hailstorms cause significant damage to agriculture. Success in the fight against hail are currently small. Apparently, this is determined by the insufficiency of theoretical studies of the processes in city formation, although significant progress has been achieved in this area.

In this paper, we propose a mathematical model for the growth of hailstones according to one of the main growth mechanisms, heterocoagulation. The physical mechanism of the latter phenomenon is very complex and still not clear. The purpose of this work is by no means to discuss the prevalence of one or another hailstone growth mechanism. The work is an attempt to present a kinetic scheme of heterocoagulation of water microdroplets in a cloud on the surface of a naturally generated or artificially created solid phase (hail germs).

In this work, based on the proposed mathematical model, it is shown that at the initial stages of heterocoagulation, in the absence of agglomeration of nuclei, the Poisson distribution takes place for the probabilities of the number of water microdroplets deposited on the embryo. 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.

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

Հոդվածը ներկայացվել է խմբագրական խորհուրդ 16.12.2022թ.:

Հոդվածը գրախոսվել է 18.12.2022թ.:

Ընդունվել է տպագրության 29.03.2023թ.: