

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЗАХВАТА ОБЛАЧНЫХ ЧАСТИЦ ГРАДИНАМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ИХ РОСТА

Блиадзе Т.Г.

*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.
Иванэ Джавахишвили, 0171, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1*

Работы по экспериментальному и теоретическому определению коэффициента захвата градинами облачных элементов проведены рядом исследователей [1-5], однако число их недостаточно и, поэтому, они не смогли охватить весь комплекс вопросов, связанных с определением этого коэффициента. Проведенные нами эксперименты [6,7] помогли расширить круг знаний по этому вопросу.

В работе использованы следующие обозначения: **D** – диаметр градины, мм; **ΔM** – прирост массы градин; **E** – интегральный коэффициент захвата облачных капель градинами; **T** – температура облачной среды, град С; **w** – водность искусственной облачной среды, г/куб м; **x** – время, мин или сек; **V** – скорость воздушного потока; **Mean** – среднее; **Min** – минимум; **Max** – максимум; **Interv** – вариационный размах; **Median** – медиана; **σ**, **St Dev** – стандартное отклонение; **σ_m** – стандартная ошибка среднего; **C_v** – коэффициент вариации (%); **A_s** – коэффициент асимметрии; **K** – коэффициент эксцесса; **Count** – число случаев; **t** – критерий Стьюдента; **F** – критерий Фишера; **R²** – коэффициент детерминации; **R** – линейный коэффициент корреляции; **α** – уровень значимости; **CONF** – доверительный интервал.

Ниже представлены результаты проведенных нами работ по оценке значений **E**, а также исследованию связи интегрального коэффициента захвата с размерами градин, температурой и водностью облачной среды при сухом и мокром режимах роста града. Расчет значений **E** проводился по формуле:

$$E=4\Delta M/\pi D^2 w V x$$

Статистические характеристики значений интегрального коэффициента захвата облачных капель градинами и параметров искусственной облачной среды по всем данным экспериментов по моделированию условий сухого и мокрого роста свободно взвешенных градин представлены в табл. 1. В общей сложности было определено 354 значения **E** (135 для мокрого роста и 219 для сухого). Параметры облачной среды при указанных режимах роста градин были следующие. Для мокрого роста температура облачной среды менялась от $-1,0$ °C до $-16,5$ °C, при среднем значении $-7,0$ °C со стандартным отклонением $3,4$ °C и коэффициентом вариации $48,6\%$. Водность менялась от $0,7$ до $5,0$ г/м³, при среднем значении $3,6$ г/м³ ($\sigma = 1,09$ г/м³, $C_v = 29,8\%$). При моделировании сухого роста градин диапазон изменения температуры облачной среды составлял $-2,5$ ÷ $-19,5$ °C, при среднем значении $-13,5$ °C ($\sigma = 4,24$ °C, $C_v = 31,3\%$). Водность менялась от $0,8$ до $5,0$ г/м³, при среднем значении $2,6$ г/м³ ($\sigma = 0,98$ г/м³, $C_v = 35,8\%$). Размеры градин при указанных условиях роста были следующие. При мокром росте диапазон изменения диаметра градин от начального до конечного составлял $13,1$ ÷ $34,0$ мм, при среднем значении $23,0$ мм ($\sigma = 4,99$ мм, $C_v = 21,7\%$). При сухом росте значения **D** менялись от $15,0$ до $35,5$ мм при среднем значении $21,8$ мм ($\sigma = 4,56$ мм, $C_v = 20,9\%$).

Величина интегрального коэффициента захвата для условий мокрого роста меняется от $0,08$ до $0,90$ при среднем значении, равном $0,40 \pm 0,013$. При сухом росте диапазон изменения **E** практически не

отличается от предыдущего случая и ΔM составляет $0,06 \pm 0,89$. Среднее значение E по данным всех экспериментов при сухом росте равно $0,35 \pm 0,01$ и в соответствии с t – критерием с α не хуже $0,05$, немного меньше, чем при мокром росте.

Таблица 1

Статистические характеристики значений интегральных коэффициентов захвата капель градинами и параметров облачной среды по всем данным экспериментов по моделированию условий сухого и мокрого роста града

Режим роста	Мокрый рост			
Парам.	Диам., мм	Коэфф. захвата	Темпер. град. С	Водн. г/м ³
<i>Mean</i>	23,0	0,40	-7,0	3,6
Min	13,1	0,08	-16,5	0,7
Max	34,0	0,90	-1,0	5,0
Interv	20,9	0,82	15,5	4,3
Median	22,8	0,37	-6,5	3,8
St Dev	4,99	0,147	3,40	1,09
σ_m	0,43	0,013	0,29	0,09
C_v (%)	21,7	37,0	48,6	29,8
A_s	0,28	0,99	-0,31	-0,71
K	-0,90	1,16	-0,15	-0,11
Count	135	135	135	135
Повторяемость значений коэффициента захвата (середины интервала)				
Коэфф. захвата	0,05	0,15	0,25	0,35
%	0,7	3,0	25,2	29,6
Коэфф. захвата	0,45	0,55	0,65	0,75
%	22,2	8,9	6,7	1,5
Коэфф. захвата	0,85			
%	2,2			
Сухой рост				
<i>Mean</i>	21,8	0,35	-13,5	2,6
Min	15,0	0,06	-19,5	0,8
Max	35,5	0,89	-2,5	5,0
Interv	20,5	0,83	17,0	4,2
Median	20,9	0,33	-14,5	2,4
St Dev	4,56	0,152	4,24	0,98
σ_m	0,31	0,010	0,29	0,07
C_v (%)	20,9	43,7	31,3	38,3
A_s	0,61	0,58	0,72	0,40
K	-0,49	0,28	-0,26	-0,74
Count	219	219	219	219

Повторяемость значений коэффициента захвата (середины интервала)				
Кoeff. захвата	0,05	0,15	0,25	0,35
%	3,7	13,2	27,4	23,7
Кoeff. захвата	0,45	0,55	0,65	0,75
%	16,9	9,1	4,1	1,4
Кoeff. захвата	0,85			
%	0,5			

Значения A_s и K для интегральных коэффициентов захвата указывают на близость к нормальному функций распределения E в генеральной совокупности при обоих режимах роста града (коэффициенты эксцесса меньше утроенных значений стандартного отклонения их теоретических значений σ_K при указанном выше числе измерений, составляющих соответственно для мокрого и сухого роста 1,26 и 0,99, коэффициенты асимметрии для E при мокром росте также ниже $3\sigma_{As}$, составляющего 0,63, а A_s для E при сухом росте несколько выше $3\sigma_{As}$, составляющего 0,50 и указывающего на слабую правостороннюю асимметрию функций распределения E).

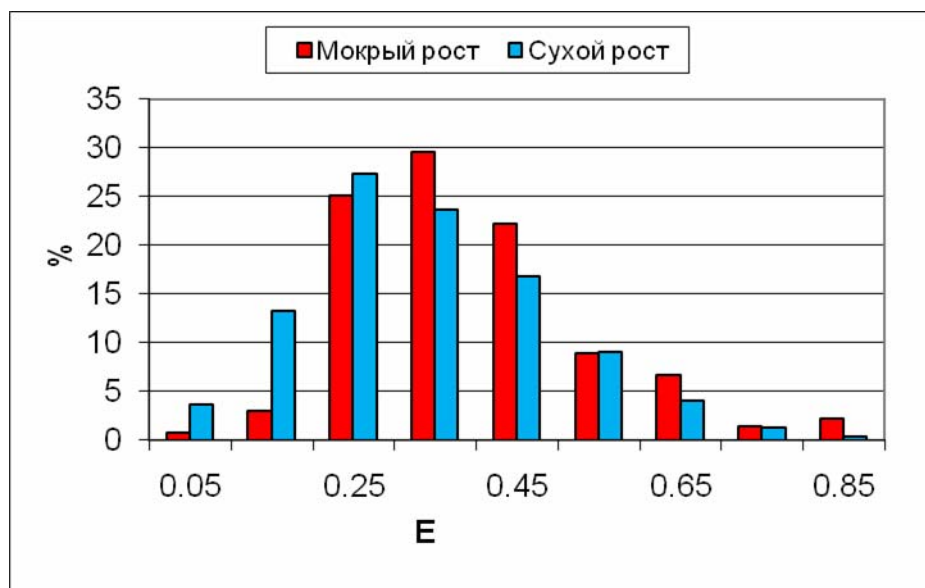


Рис. 1

Повторяемость значений интегрального коэффициента захвата облачных капель градинами при мокром и сухом режимах их роста.

Наглядно это иллюстрируется рис. 1, на котором представлена повторяемость значений E при указанных режимах роста. Соответствующие данные о процентной повторяемости величин интегрального коэффициента захвата в диапазоне их значений от 0 до 0,9 с шагом 0,10 представлены также в табл. 1. При мокром росте наибольшая повторяемость значений E приходится на диапазон $0,31 \div 0,40$ (29,6% случаев), а при сухом росте на диапазон $0,21 \div 0,30$ (27,4% случаев). В диапазоне от 0,21 до 0,50 повторяемость величин E для мокрого и сухого роста соответственно составляет 77% и 68%. То есть, чаще всего значения E имеют указанные величины. Мало случаев с низкими и высокими значениями E . Так, повторяемость E ниже 0,1 для мокрого и сухого роста соответственно составляет 0,7% и 3,7% случаев, а для E выше 0,7 – соответственно 3,7% и 1,9% случаев. Повторяемость E в диапазоне до 0,3 при мокром росте ниже, чем при сухом (28,9% и 44,3% соответственно, разность 15,4%), затем, в диапазоне 0,31-0,50, наоборот, повторяемость E при мокром росте выше, чем при сухом

(51,8% и 40,6% соответственно, разность 11,2%). В диапазоне 0,51-0,90 повторяемость E при мокром росте ненамного выше, чем при сухом (19,3% и 15,1% соответственно, разность 4,2%).

Особый интерес представляют исследования зависимости интегрального коэффициента захвата облачных капель градинами от размера градин, а также температуры и влажности облачной среды. Данные, полученные нами, позволили провести указанные исследования. Результаты парного и двумерного корреляционного и регрессионного анализов связей интегрального коэффициента захвата с размером градин, температурой и влажностью искусственной облачной среды для условий мокрого и сухого роста градин по данным отдельных измерений представлены в табл. 2 и на рис. 2-3. Рассмотрим подробнее результаты этого анализа.

На рис. 2 приведены графики связей E с D , w и T в режиме мокрого роста града. На верхнем представлена зависимость интегрального коэффициента захвата от диаметра градин и температуры облачной среды. На нижнем - зависимость E от D и w . Как следует из представленных на этом рисунке данных, зависимость интегрального коэффициента захвата от диаметра градин имеет нелинейный характер и описывается полиномом третьей степени со значимостью коэффициента детерминации в соответствие с F - критерием не хуже 0,01. Отметим, что линейная связь в этом случае значительно слабее (коэффициент корреляции составляет $-0,09$ с $\alpha = 0,2$). Также низка линейная корреляционная связь между значением E и w ($R = -0,17$ с $\alpha = 0,05$). В то же время между интегральным коэффициентом захвата и температурой облачной среды отмечается достаточно высокая обратная линейная корреляционная связь (с коэффициентом корреляции $-0,51$). Таким образом, при мокром росте температурная зависимость интегрального коэффициента захвата выше, чем эта зависимость от размеров градин, а зависимость E от w ниже, чем от D . Хорошо видно, что наклон поверхности вдоль оси влажности гораздо слабее, чем по оси температуры верхнего графика. Значения соответствующих коэффициентов двумерных уравнений регрессии приведены в табл. 2.

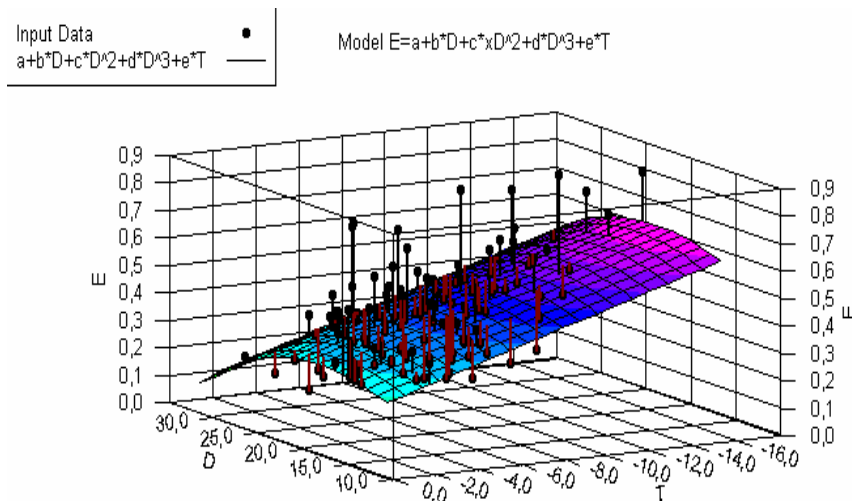
Таблица 2

Значения коэффициентов уравнений регрессии, связывающих величину интегрального коэффициента захвата капель градинами с их диаметром, температурой и влажностью искусственной облачной среды при мокром и сухом режиме роста

<i>Мокрый рост</i>		
$E = a + b \cdot D + c \cdot D^2 + d \cdot D^3 + e \cdot T, R^2 = 0,367$ (α не хуже 0,001).		
<i>Кoeff. уравн. регрессии</i>	Значение	CONF 68% (+/-)
a	-0,09682	0,941271
b	0,031669	0,123854
c	-0,0005	0,005293
d	-8,98E-06	7,37E-05
e	-0,02438	0,003219
$E = a + b \cdot D + c \cdot D^2 + d \cdot D^3 + e \cdot w, R^2 = 0,115$ (α не хуже 0,01).		
a	-0,4577	1,119122
b	0,087844	0,14674
c	-0,0021	0,006286
d	5,95E-06	8,76E-05
e	-0,02263	0,011454
<i>Сухой рост</i>		
$E = a + b \cdot D + c \cdot D^2 + d \cdot D^3 + e \cdot T, R^2 = 0,178$ (α не хуже 0,01)		

a	-2,02357	1,027457
b	0,246174	0,133166
c	-0,00815	0,005598
d	8,12E-05	7,67E-05
e	-0,00671	0,002273
$E = a + b \cdot D + c \cdot D^2 + e \cdot D^3 + e \cdot w$, $R^2 = 0,210$ (α не хуже 0,005).		
a	-2,51139	1,006102
b	0,330419	0,130499
c	-0,01159	0,005495
d	0,000128	7,54E-05
e	-0,04041	0,009569

На рис. 3 представлены графики связей E с D , w и T в режиме сухого роста града. Из представленных на этом рисунке данных следует, что зависимость интегрального коэффициента захвата от диаметра градин, как и в предыдущем случае, также имеет нелинейный характер и описывается полиномом третьей степени со значимостью коэффициента детерминации в соответствии с F -критерием не хуже 0,01. Отметим, что и в данном случае линейная связь между E и D очень слабая ($R = 0,1$ с $\alpha = 0,1$).



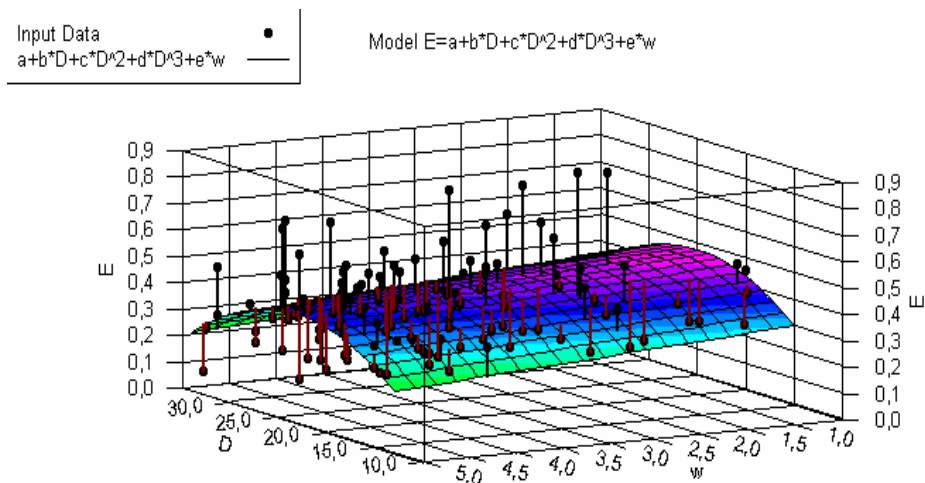
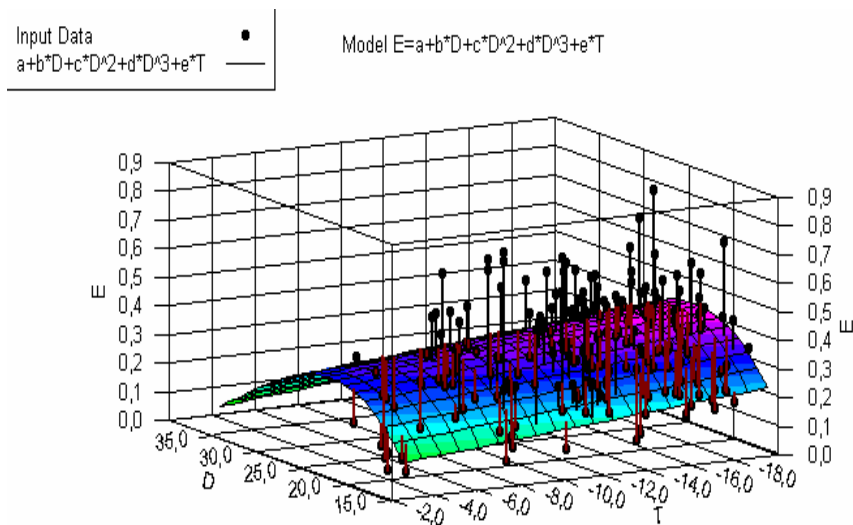


Рис. 2

Зависимость интегрального коэффициента захвата облачных капель градинами при мокром режиме их роста от диаметра градин и температуры облачной среды (верхний график) и диаметра градин и влажности облачной среды (нижний график).

В отличие от мокрого роста, при сухом режиме степень линейной коррелированности между значением E и w , и E и T одинаковая как по знаку, так и по величине (соответственно $R = -0,26$ с α не хуже $0,001$). Однако в отличие от мокрого роста сравнение коэффициентов детерминации между E и D , E и T , а также E и w показывает, что при сухом росте зависимость интегрального коэффициента захвата от размеров градин выше, чем эта зависимость от температуры и влажности облачной среды. Указанное наглядно демонстрируется верхним и нижним графиками рис. 3. Значения соответствующих коэффициентов двумерных уравнений регрессии приведены в табл. 2.



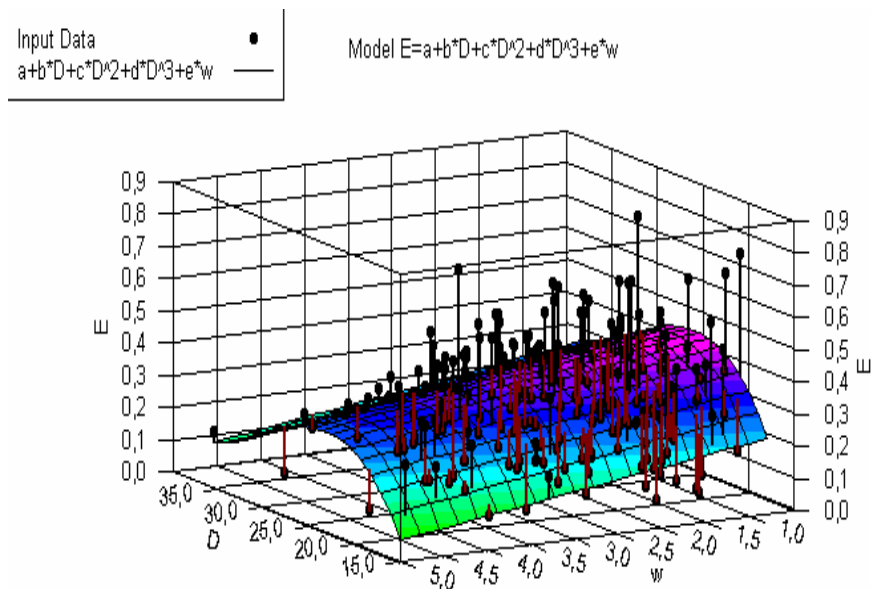


Рис. 3

Зависимость интегрального коэффициента захвата облачных капель градинами при сухом режиме их роста от диаметра градин и температуры облачной среды (верхний график) и диаметра градин и влажности облачной среды (нижний график).

Наконец, рассмотрим зависимость осредненных в различных диапазонах диаметров градин значений интегрального коэффициента захвата от размера градин. В табл. 3 представлены статистические характеристики значений E для градин диаметром от 15,1÷17,0 мм, 17,1÷19,0 мм 31,1÷32,0 мм (всего девять диапазонов осреднения) для условий мокрого и сухого роста (в таблице указаны середины интервалов этих диапазонов).

Таблица 3

Статистические характеристики значений интегральных коэффициентов захвата капель градинами различных размеров при моделировании условий мокрого и сухого роста града

D мм	16	18	20	22	24	26	28	30	32
<i>Мокрый рост</i>									
<i>M</i>									
<i>e</i>	0,36	0,38	0,42	0,47	0,48	0,36	0,39	0,31	0,29
<i>a</i>									
<i>n</i>									
Min	0,25	0,24	0,20	0,16	0,25	0,18	0,22	0,24	0,08
Max	0,50	0,62	0,90	0,84	0,79	0,52	0,66	0,38	0,49

Interv	0,25	0,39	0,70	0,69	0,54	0,35	0,45	0,14	0,41
Median	0,35	0,36	0,33	0,46	0,46	0,35	0,37	0,32	0,29
St Dev	0,07	0,11	0,20	0,19	0,16	0,09	0,14	0,05	0,13
σ_m	0,02	0,02	0,06	0,04	0,05	0,03	0,03	0,02	0,05
C_v (%)	20,6	27,6	47,7	41,4	33,1	25,4	35,5	16,5	44,5
A_s	0,57	0,56	1,13	0,24	0,90	-0,25	0,72	0,02	-0,04
K	0,09	-0,49	1,14	-0,53	0,46	0,88	-0,40	-1,32	0,72
Count	11	26	13	23	12	11	21	7	7
	Сухой рост								
Mean	0,27	0,30	0,44	0,39	0,40	0,37	0,37	0,33	0,23
i_n	0,06	0,07	0,15	0,14	0,22	0,08	0,15	0,18	0,07
Max	0,60	0,77	0,89	0,65	0,74	0,62	0,58	0,49	0,37
Interv	0,54	0,70	0,74	0,51	0,52	0,54	0,43	0,30	0,30
Median	0,26	0,3	0,45	0,37	0,39	0,38	0,39	0,35	0,24
St Dev	0,15	0,14	0,18	0,14	0,14	0,13	0,14	0,09	0,11
σ_m	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,05
C_v (%)	55,7	45,8	39,7	35,0	34,7	35,8	37,0	25,7	46,1
A_s	0,57	1,46	0,41	0,30	0,71	-0,15	-0,26	-0,09	-0,71
K	-0,56	3,36	0,11	-0,58	-0,10	-0,15	-0,72	-0,07	2,12
Count	31	52	28	26	29	23	11	12	5

Среднее значение температуры облачной среды при мокром росте для указанных диапазонов размеров менялась от $-5,1 \pm 0,6$ °C до $-9,2 \pm 1,2$ °C, а влажности – от $3,3 \pm 0,2$ г/м³ до $4,2 \pm 0,4$ г/м³. В условиях сухого роста среднее значение температуры менялась от $-10,3 \pm 0,4$ °C до $-15,8 \pm 1,0$ °C, а влажности – от $2,3 \pm 0,2$ г/м³ до $3,0 \pm 0,3$ г/м³. Линейные и нелинейные корреляционные связи между средними значениями **E** и средними величинами **T** и **w** для этих девяти диапазонов незначимы или малозначимы. То есть, зависимость средних значений **E**, приведенных в таблице 3, от температуры и влажности незначительна.

Незначима или малозначима также линейная корреляционная связь этих значений **E** со средними величинами диаметра градин ($-0,47$ при мокром росте и $-0,15$ при сухом). Однако эта связь становится значимой в случае нелинейной зависимости среднего значений интегрального коэффициента захвата от среднего диаметра градин. Так, при описании этой зависимости полиномом шестой степени, значения коэффициентов детерминации между **E** и **D** при мокром и сухом росте соответственно составляют 0,868 и 0,94 с уровнем значимости не хуже 0,01 (рис. 4).

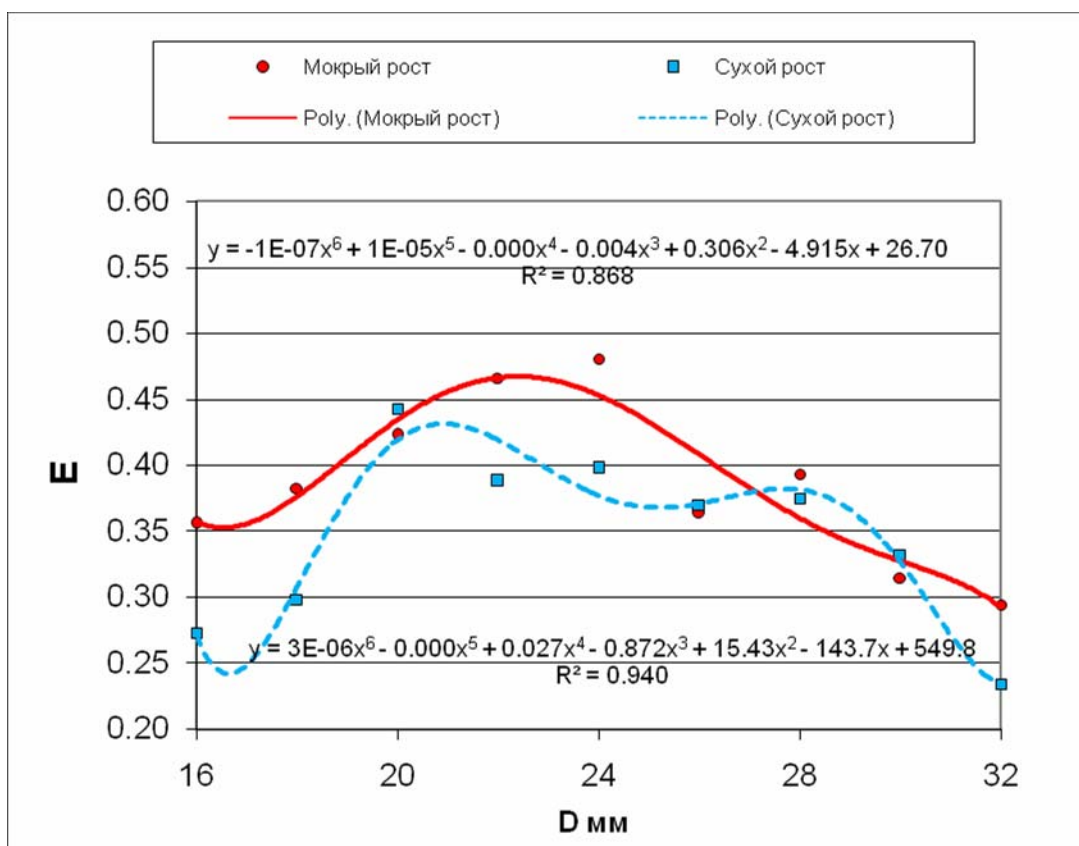


Рис. 4

Зависимость значений интегрального коэффициента захвата облачных капель от диаметра градин при мокром и сухом режимах их роста

Анализ данных табл. 3 и рис. 4 показывает следующее. В условиях мокрого роста максимальное значение интегрального коэффициента захвата приходится на диаметр градин от 23 до 25 мм и составляет $0,48 \pm 0,05$. При этом, эта максимальная величина статистически незначимо отличается от значений E для диапазонов размеров градин 19,1-21,0 мм и 21,1-23,0 мм. Для всех остальных диапазонов средние значения E меньше ее максимальной величины. Минимальная средняя величина E приходится на диапазон 31,1-33,0 мм и составляет $0,29 \pm 0,05$.

При мокром росте максимальное значение интегрального коэффициента захвата приходится на диаметр градин от 19,1 до 21,0 мм и составляет $0,44 \pm 0,03$. При этом указанная максимальная величина статистически незначимо отличается лишь от значения E для размеров градин 23,1-25,0 мм. Для всех остальных диапазонов средние значения E меньше ее максимальной величины. Минимальная средняя величина E также приходится на диапазон 31,1-33,0 мм и составляет $0,23 \pm 0,05$. Следует также отметить, что в кривой зависимости E от D при мокром росте наблюдается один экстремум, тогда как при сухом режиме роста этих экстремумов два (рис. 4). Сравнение средних значений E для различных размеров градин показывает, что эти значения при мокром росте выше величин E при сухом для градин размерами 15,1-17,0 мм, 17,1-19,0 мм, 21,1-23,0 мм, 23,1-25,0 мм (первый, второй, четвертый и пятый диапазон диаметров градин, табл. 3, α не хуже 0,15 по критерию t). Для остальных размеров градин средние величины E для обоих режимов роста статистически мало различимы (третий и с шестого по девятый диапазоны диаметров градин). Таким образом, в среднем значение интегрального коэффициента захвата облачных капель градинами при мокром росте выше E при сухом для диаметров градин от 15 до 25 мм, затем, для больших размеров градин, величины E не зависят от режима роста.

ლიტერატურა

1. Langmuir I. – Mathematical investigation of water droplet trajectories. The collected works of I. Langmuir, Pergamon Press, New-Iork. V. 10. 1961. 348-393
2. Тлисов М.И., Хоргуани В.Г. – Исследование зародышей градин в аэродинамической трубе . Тр. ВГИ, вып. 29, Л., Гидрометеоздат. 1975. 122-139.
3. Хоргуани В.Г. – Микрофизика зарождения и роста града. М., Гидрометеоздат. 1984. 1-188.
4. Экба Я.А. – Исследование эффективности захвата градин в искусственных переохлажденных туманах. Тр. ВГИ, вып. 17, Л., Гидрометеоздат. 1970. 184-194.
5. Экба Я.А., Аджиев А.Х. – Вертикальная аэродинамическая труба для исследования града. Тр. ВГИ, вып. 19, Л., Гидрометеоздат. 1971. 175-181.
6. Amiranashvili A., Bliadze T., Chiabrishvili N., Chikhladze V., Gzirishvili T., Kirkitadze D., Nodia A., Odisharia M., Okujava A.- Complex for laboratory modelling of microphysical and electrical properties of aerodisperse formations. Proc.Int.Conf. Dedicated to Memory of Prof.A.Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30. 2000. 54-55.
7. Блиадзе Т.Г. – Скорость роста градин при различной влажности и температуре искусственной облачной среды. Тр. Ин-та геофизики им. М. Нодиа. 2008.Т. 60. С. 219 - 222.

სეტყვის მარცვლების მიერ საღრუბლო ნაწილაკების მიტაცების ინტეგრალური კოეფიციენტის მნიშვნელობების კვლევა ზრდის სხვადასხვა პირობების დროს

ბლიაძე თ.

რეზიუმე

ჩატარებულია სეტყვის მარცვლების მიერ საღრუბლო ნაწილაკების მიტაცების ინტეგრალური კოეფიციენტის მნიშვნელობები სველი და მშრალი ზრდის დროს. დადგენილია, რომ სველი ზრდის პირობებში მიტაცების ინტეგრალური კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობები მოდის 23-25 მმ დიაპაზონზე და შეადგენს $0,48 \pm 0,03$, ხოლო მშრალი ზრდის პირობებში მიტაცების ინტეგრალური კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობები მოდის 19.1-21.0 მმ დიაპაზონზე და შეადგენს $0,44 \pm 0,03$.

Study of the Integral Coefficient of the Capture of Cloud Particles by Hailstones under the Varied Conditions for Their Growth

Bliadze T.

Abstract

The study of the integral coefficient of the capture of cloud particles by hailstones during the dry and wet regimes of their growth is carried out. It is established that with the wet growth the maximum value of the integral coefficient of seizure falls to the range 23-25 mm and comprises $0,48 \pm 0,03$, and with the dry growth the maximum value of the integral coefficient of seizure falls to the range 19.1 - 21.0 mm and comprises $0,44 \pm 0,03$.