

# **Алгоритм определения интенсивности осадков по спутниковым измерениям в микроволновом диапазоне**

Сазонов Дмитрий Сергеевич  
Институт космических исследований РАН  
e-mail: [Sazonov\\_33m7@mail.ru](mailto:Sazonov_33m7@mail.ru)

# Методы определения интенсивности осадков

**Методы оценки осадков в основном разделены на три главные категории основанных на типе наблюдений:**

- видимые/инфракрасные методы,
- микроволновые методы
- смешанные(комбинированные) методы.

**Алгоритмы использующие микроволновые измерения:**

- преобразования исходных данных в псевдоканалы,
- физические и эмпирические алгоритмы,
- нейронные сети,
- и многие другие.

# Выбор способа определения осадков



**Special Sensor Microwave Imager  
(SSM/I)**

**Таблица частот приборов SSM/I и МИРС**

Рабочие частоты SSM/I, ГГц	Угол падения, град	Соответствующие частоты МИРС, ГГц	Угол падения, град
19,35 (В, Г)	53,1	18,7 (В, Г)	53,1
22,235 (В)		23,8 (В, Г)	54,4
37,0 (В, Г)		36,5 (В, Г)	53,1
85,5 (В, Г)		88 (В, Г)	53,1

**Предлагается использовать относительно простой алгоритм ALG'85,**

*Ferraro R.R. Special sensor microwave imager derived global rainfall estimates for climatological applications // J. Geophys. Res. 1997. Vol. 102. N. D14. pp. 16,715–16,735.*

XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

# Излучение и рассеяние физическими объектами

## Классификация объектов:

- Поглощающие/Излучающие
- Рассеивающие

TABLE 2. List of Scattering and Absorbing Materials

Scattering Materials, $T_v(22) > T_v(85)$	Absorbing Materials, $T_v(22) < T_v(85)$
Precipitation	Cloud liquid water
Dry snow	Melting snow
Aged sea ice	New sea ice
Glacial ice	Vegetation
Desert sand	Moist soil

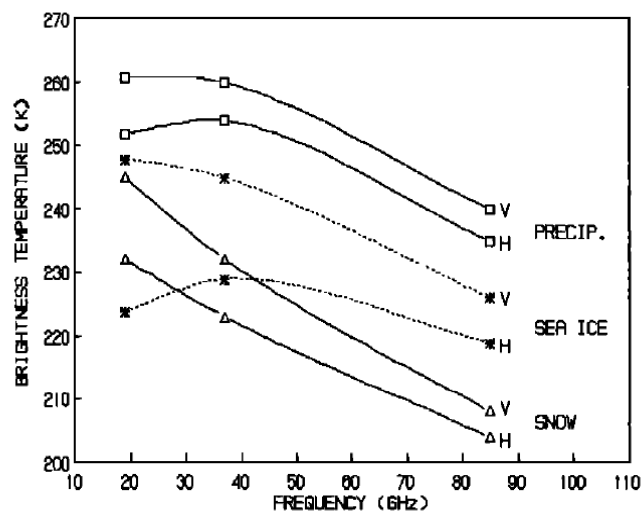


Fig. 1. Examples of SSM/I measurements for snow cover, aged sea ice, and precipitation over land. Brightness temperatures at vertical ( $V$ ) and horizontal ( $H$ ) polarization are plotted as a function of frequency.

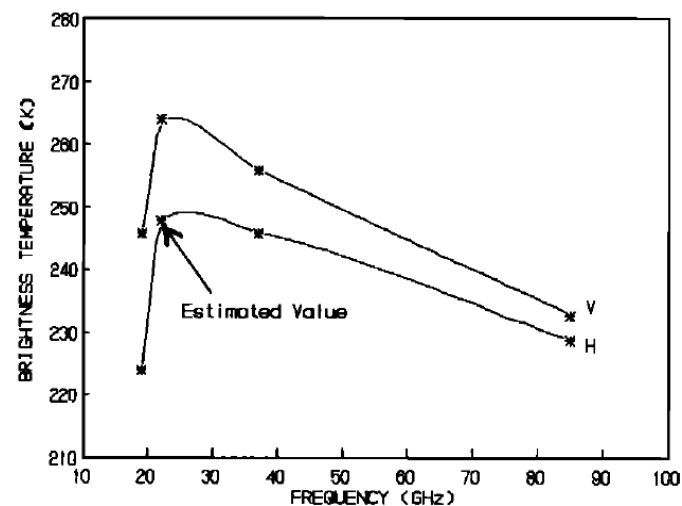


Fig. 2. Examples of SSM/I measurements for precipitation over ocean. Brightness temperatures at vertical ( $V$ ) and horizontal ( $H$ ) polarization are plotted as a function of frequency. Since the SSM/I does not contain a horizontal polarization channel at 22 GHz, its value is estimated using the vertical polarization measurement.

Grody, N. C., Classification of snow cover and precipitation using the special sensor microwave/imager (SSM/I), *J. Geophys. Res.*, 96, 7423-7435, 1991.

XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

# Индекс рассеяния и интенсивность осадков

Индекс рассеяния  $SI$  (Scattering Index):

$$SI_L = 451.9 - 0.44 \cdot Tb(19V) - 1.775 \cdot Tb(22V) + 0.00575 \cdot Tb(22V)^2 - Tb(85V) \quad (\text{Земля})$$

$$SI_W = -174.4 + 0.72 \cdot Tb(19V) + 2.439 \cdot Tb(22V) - 0.00504 \cdot Tb(22V)^2 - Tb(85V) \quad (\text{Вода})$$

Интенсивность осадков  $I$ :

$$I = 0.00513 \cdot SI_L^{1.9468} \quad (\text{Земля})$$

$$I = 0.00188 \cdot SI_L^{2.0343} \quad (\text{Вода})$$

Если индекс рассеяния  $SI$  над водой меньше 10К:

$$Q_{19} = -2.7 \cdot [\ln(290 - Tb(19V)) - 2.84 - 0.4 \cdot \ln(290 - Tb(22V))]$$

$$Q_{37} = -1.15 \cdot [\ln(290 - Tb(37V)) - 2.99 - 0.32 \cdot \ln(290 - Tb(22V))]$$

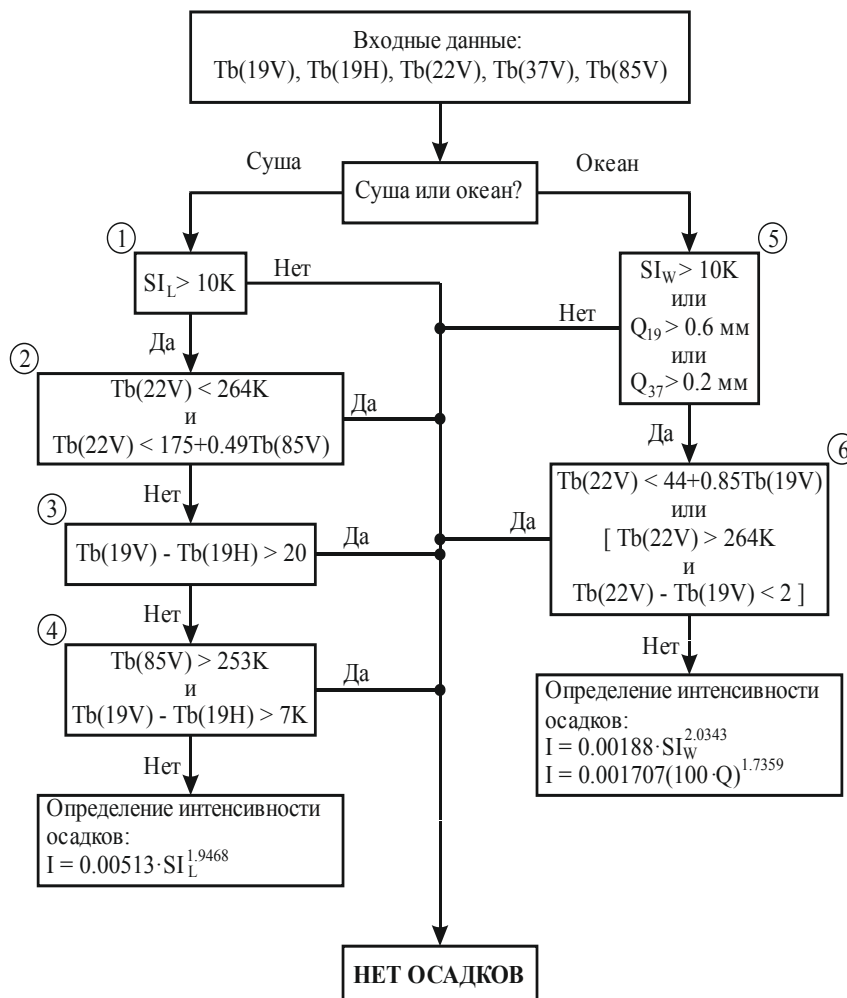
Интенсивность осадков  $I$  по оценке капельной влаги:

$$I = 0.001707 \cdot (100 \cdot Q)^{1.7359}$$

Минимальный восстанавливаемый уровень осадков составляет 0.3 мм/ч

Максимальный - 35 мм/ч

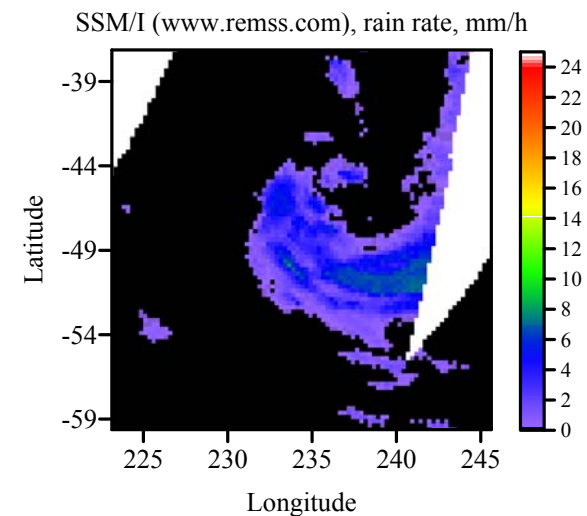
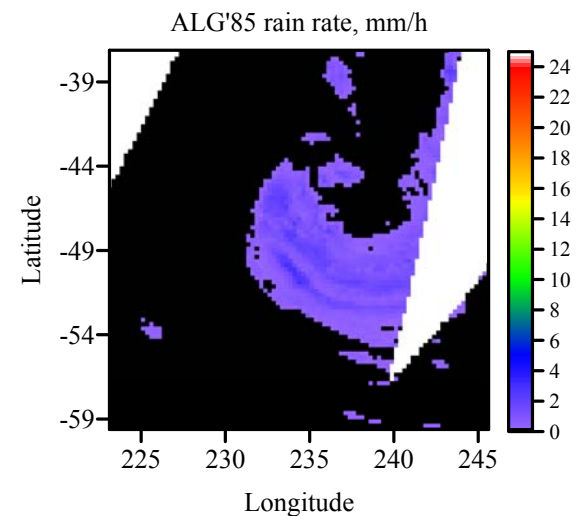
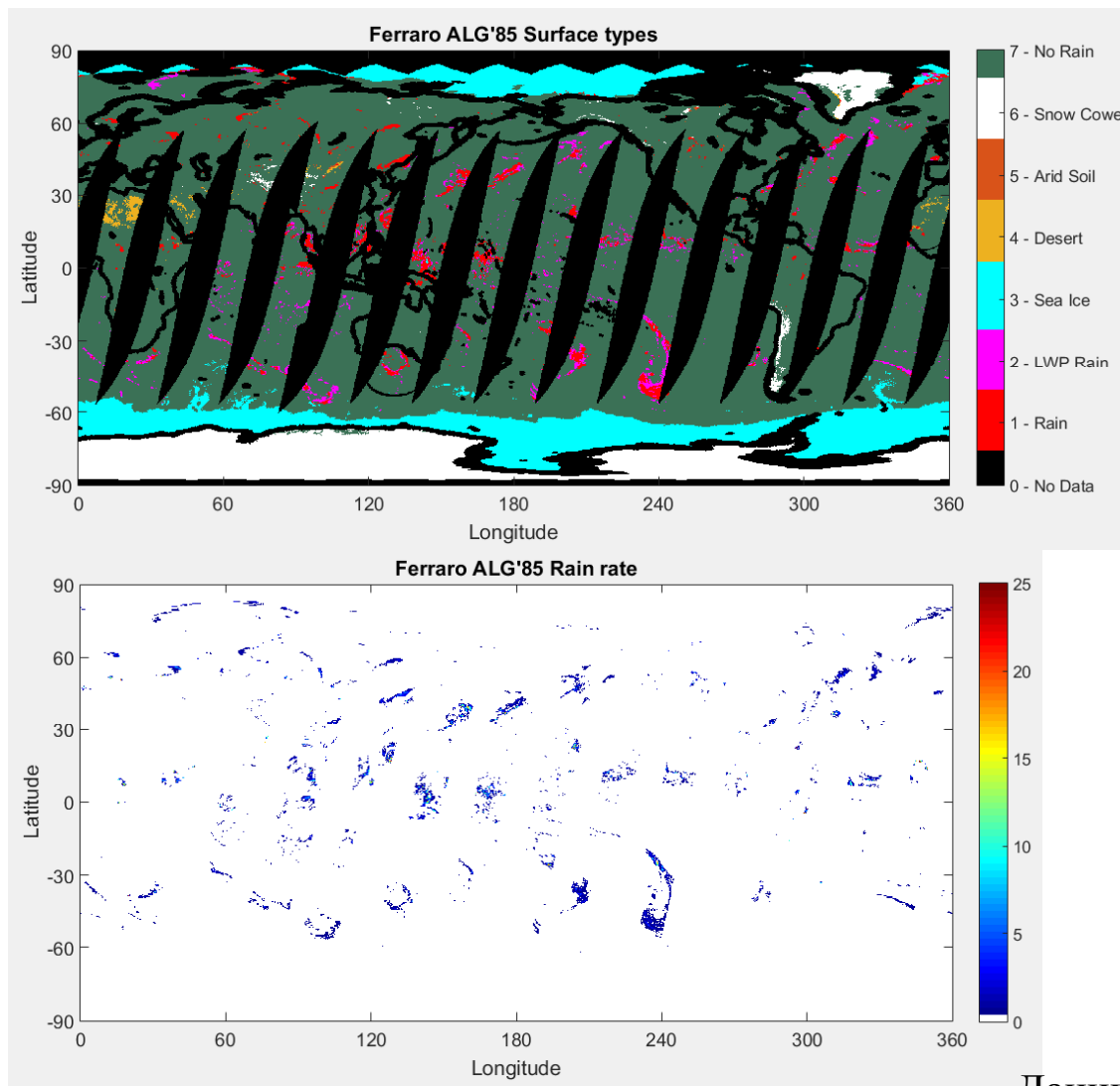
# Алгоритм классификации и вычисления интенсивности осадков



- По входным значениям телеметрии определяется произведено ли измерение над сушей или океаном.
- По радиояркостным температурам вычисляется индекс рассеяния  $SI$ .
- Вода.
  - (5) Если  $SI > 10K$  или  $Q_{19} > 0.6\text{мм}$  или  $Q_{37} > 0.2\text{мм}$ , проверяется условие наличия льда.
  - (6) Если льда нет, то вычисляется интенсивность осадков.
- Суша.
  - (2) Если  $SI > 10K$ , проверяется наличие снежного покрова.
  - (3) Если снега нет, то проверяется наличие пустыни.
  - (4) Если пустыни нет, то проверяется наличие сухой почвы.
  - Если проверки не дали результата, вычисляется интенсивность осадков.
- Если хотя бы одно из условий выполнено, то **осадков НЕТ**.

XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

# Проверка алгоритма



Данные прибора SSM/I 20 августа 2000г.

XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

## Оценка погрешности определения осадков

Алгоритм **ALG'85** можно представить как функцию:

$$I = f(T_{19V}, T_{19H}, T_{22V}, T_{37V}, T_{85V}).$$

С обеспеченностью в 67% (среднеквадратическое отклонение) погрешность определения осадков ( $\delta I$ ) можно найти по следующей формуле:

$$\delta I = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}\right)^2 \cdot \delta x_1^2 + \dots + \left(\frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n}\right)^2 \cdot \delta x_n^2},$$

где  $\delta x_i$  – погрешность измерения каждого параметра функции.

Измеренные радиояркостные температуры  $T_{19V}$ ,  $T_{19H}$ ,  $T_{22V}$ ,  $T_{37V}$  и  $T_{85V}$  сильно зависят от состояния системы «океан-атмосфера», поэтому погрешности  $\delta T$  будут рассчитаны в зависимости от неопределенности состояния атмосферы и океана.



## Оценка погрешности (продолжение)

Для оценки используется модель радиоизлучения системы «океан-атмосфера», построенная на основе многолетнего анализа спутниковых данных.

### Чувствительность радиотеплового излучения.

Название канала	Частота излучения, ГГц	$\frac{\partial T_{Я}}{\partial T_S}$ (1К)	$\frac{\partial T_{Я}}{\partial S}$ (1‰)	$\frac{\partial T_{Я}}{\partial Q}$ (1мм)	$\frac{\partial T_{Я}}{\partial U_{10}}$ (1м/с)	$\frac{\partial T_{Я}}{\partial \alpha}$ (20°)	Чувствительность в элементе разрешения, К
<i>T19V</i>	18,7	0,4617	0,0034	0,5245	0,3405	-0,2528	0,4948
<i>T19H</i>	18,7	0,2739	0,0028	0,9076	1,1414	-0,1909	0,4948
<i>T22V</i>	23,8	0,2815	-0,0131	0,9732	0,174	-0,1961	0,2895
<i>T37V</i>	36,5	-0,0491	-0,0734	0,495	0,154	-0,4165	0,3149
<i>T85V</i>	85,5	0,1715	-0,0713	0,5879	-0,0668	-	0,3482

*F. J. Wentz, T. Meissner*, AMSR ocean algorithm, version 2, Remote Sensing Systems, Santa Rosa, CA, 121 599A-1, 2000.  
 [Online]. Available: [http://www.remss.com/papers/amr/AMSR\\_Ocean\\_Algorithm\\_Version\\_2.pdf](http://www.remss.com/papers/amr/AMSR_Ocean_Algorithm_Version_2.pdf).  
*T. Meissner and F. J. Wentz*, The complex dielectric constant of pure and sea water from microwave satellite observations // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 42, no. 9, pp. 1836–1849, Sep. 2004.  
*T. Meissner and F. J. Wentz*, The Emissivity of the Ocean Surface Between 6 and 90 GHz Over a Large Range of Wind Speeds and Earth Incidence Angles // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 50, no. 8, pp. 3004–3026, Aug. 2012.

XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

# Данные для оценки погрешности

Из карты за 20 августа 2000г. взяты 11 пикселей с разным значением интенсивности осадков  $I$ .

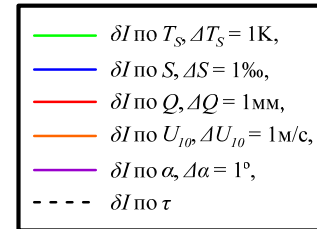
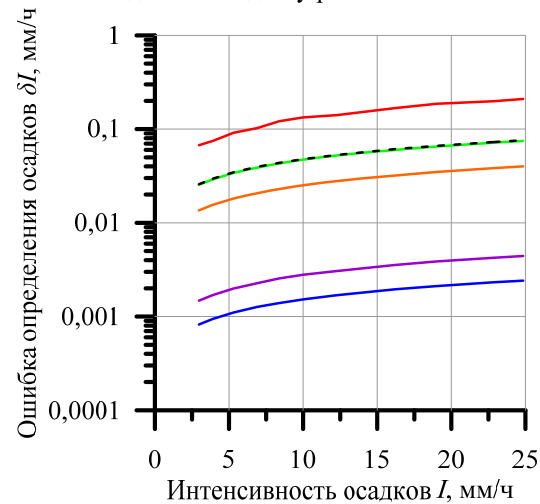
## Радиояркая температура и интенсивность осадков.

Номер пикселя	Долгота, град.	Широта, град	$I$ по $SI$ , мм/ч	$I$ по $Q19$ , мм/ч	$I$ по $Q37$ , мм/ч	$T19V$ , К	$T19H$ , К	$T22V$ , К	$T37V$ , К	$T85V$ , К
1	204,125	24,375	2,9646	-	0,9849	230,477	197,216	254,908	245,753	248,434
2	234,625	-50,875	3,9075	-	1,0726	212,26	171,47	233,67	239,39	230,385
3	204,625	-35,875	5,3082	4,7024	3,2782	240,838	218,107	256,027	258,785	243,36
4	204,875	-35,875	6,9012	3,9272	2,6756	237,528	213,973	253,366	255,539	234,47
5	204,125	24,125	8,3908	5,6423	2,2414	246,207	224,971	261,930	256,450	233,66
6	204,125	23,625	10,012	7,0209	1,5975	248,737	231,135	262,387	253,247	229,737
7	193,625	-26,125	12,262	4,1328	2,6429	240,19	215,63	257,06	256,55	217,42
8	193,375	-26,125	16,208	6,1975	2,8683	246,35	225,76	260,59	258,66	210,22
9	193,125	-25,375	18,999	9,4823	2,2467	252,55	238,04	263,23	256,98	207,16
10	193,375	-25,375	22,858	7,9566	1,5608	248,77	232,9	260,04	252,05	196,213
11	193,625	-25,375	24,845	9,2719	1,6547	251,11	236,09	261,08	253,04	193,44

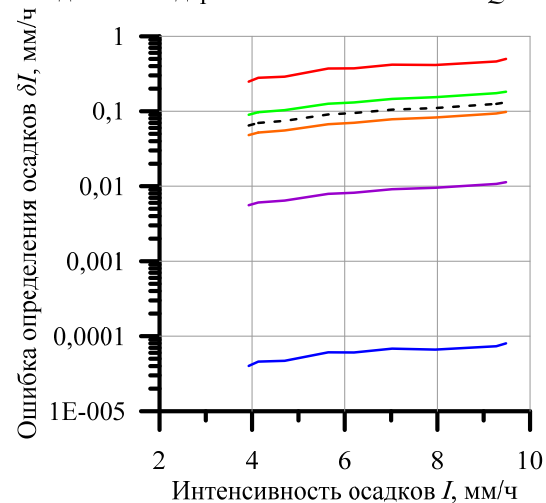
XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

# Погрешности определения осадков

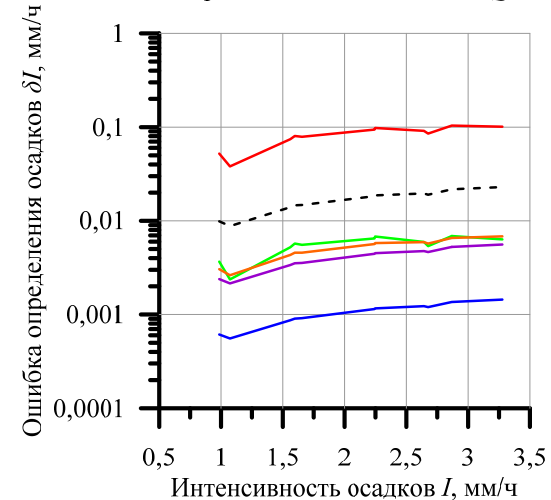
Ошибки определения интенсивности осадков по индексу рассеяния  $SI$



Ошибки определения интенсивности осадков по содержанию капельной влаги  $Q19$

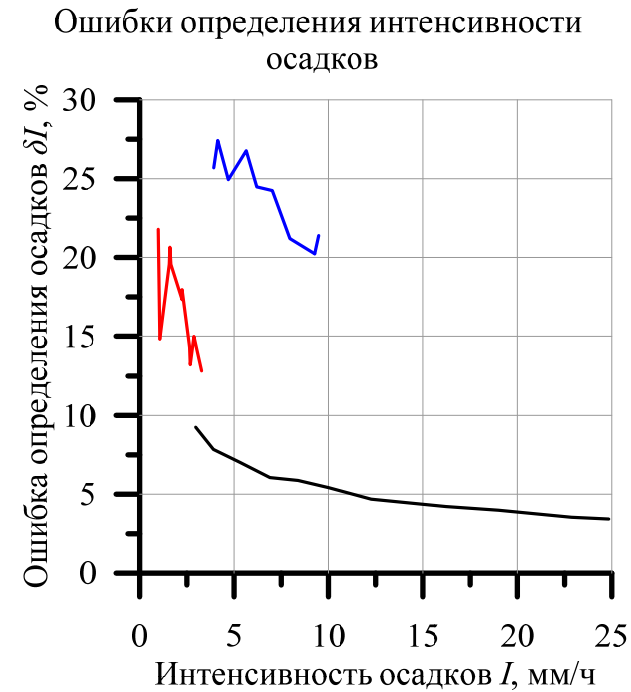
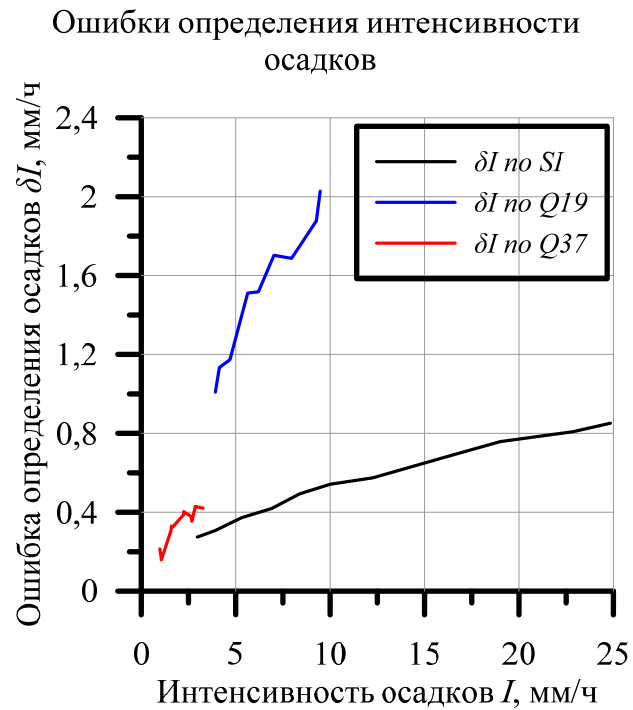


Ошибки определения интенсивности осадков по содержанию капельной влаги  $Q37$



XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

# Погрешности определения осадков



XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

## Заключение

Представленные результаты свидетельствуют о возможности определения интенсивности осадков с достаточно высокой точностью ( $\pm 10\%$ ). Однако, следует критически относиться к результатам определения интенсивности осадков по оценке капельной влаги. Кроме того, точности восстановления  $I$  могут быть увеличены если предварительно восстановить (определить) паросодержание в атмосфере, температуру воды и скорость приводного ветра.

Оценка ошибок восстановления интенсивности осадков, связанных с ошибками калибровки радиометрических приемников и с систематическими ошибками, может быть выполнена только после введения прибора в эксплуатацию.



**Спасибо за внимание**