



# Актинометрические признаки основных форм облачности

Зуев С. В., Красненко Н.П., Карташова Е.С.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, г. Томск,  
пр. Академический, д. 10/3

[zuev@imces.ru](mailto:zuev@imces.ru)

# Облачность

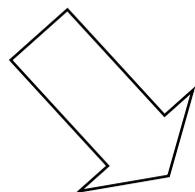
Облака покрывают более 50% поверхности Земли. Образование облачности зависит от множества факторов.

- **микрофизические особенности**  
(капельные, кристаллические, смешанные)
- **генетические особенности**  
(слоистообразные, волнистообразные, кучевообразные)
- **морфологические особенности**  
(формы, виды, разновидности)

Субъективность оценки форм и видов облачности

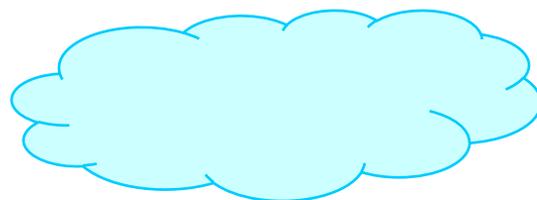


# Солнечная радиация



99 % энергии Солнца

$\lambda = 0,17 \div 4,0$  мкм

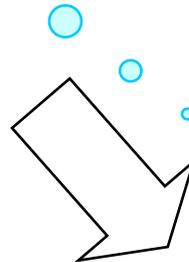
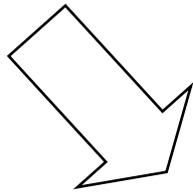


$S_0 = 1367$  Вт/м<sup>2</sup>

Баланс коротковолновой радиации

$$Q = S \cdot \sin h + D - R_k$$

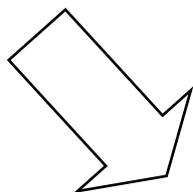
# Прямая задача атмосферной оптики



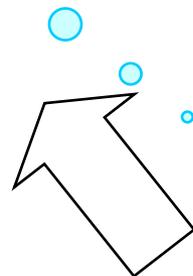
Прогноз

Расчет величин потоков и интенсивностей солнечного излучения по заданным параметрам атмосферы и поверхности (математическое моделирование измерений).

# Обратная задача атмосферной оптики



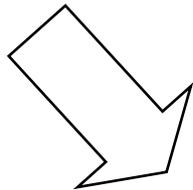
Параметры  
атмосферы



Измерение

Восстановление параметров атмосферы и поверхности по результатам экспериментальных измерений радиационных характеристик.

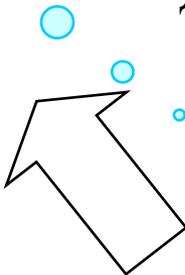
# Обратная задача атмосферной оптики



Параметры  
атмосферы

Восстановление форм и видов облачности по измеренной прямой  $S$  и рассеянной  $D$  радиации.

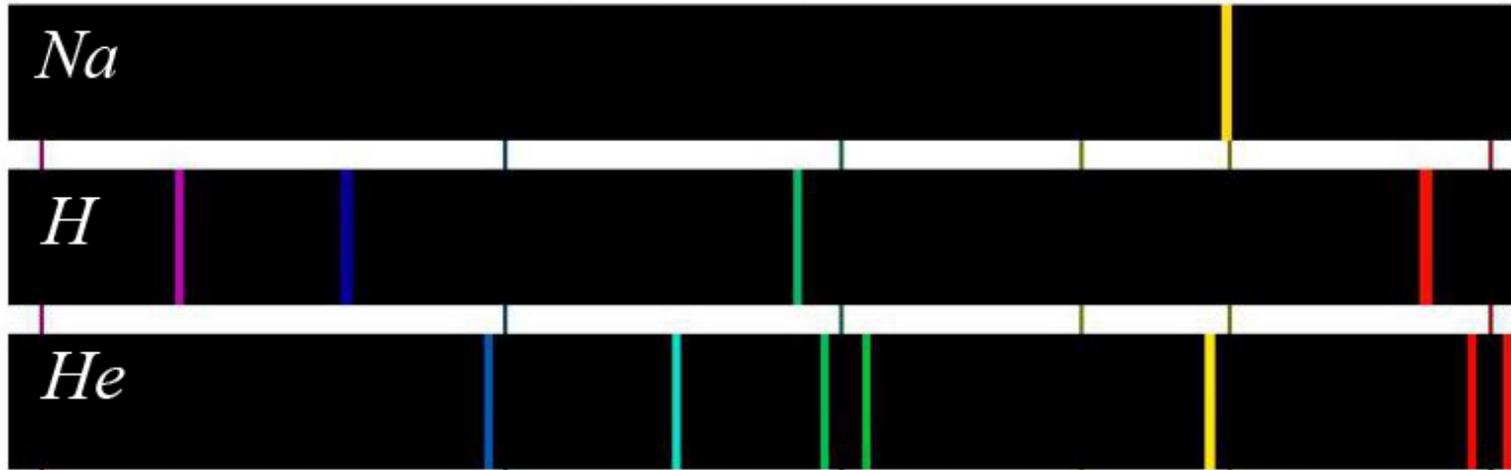
Исследование облаков на просвет и на способность переизлучать солнечную радиацию в коротковолновом диапазоне.



Измерение

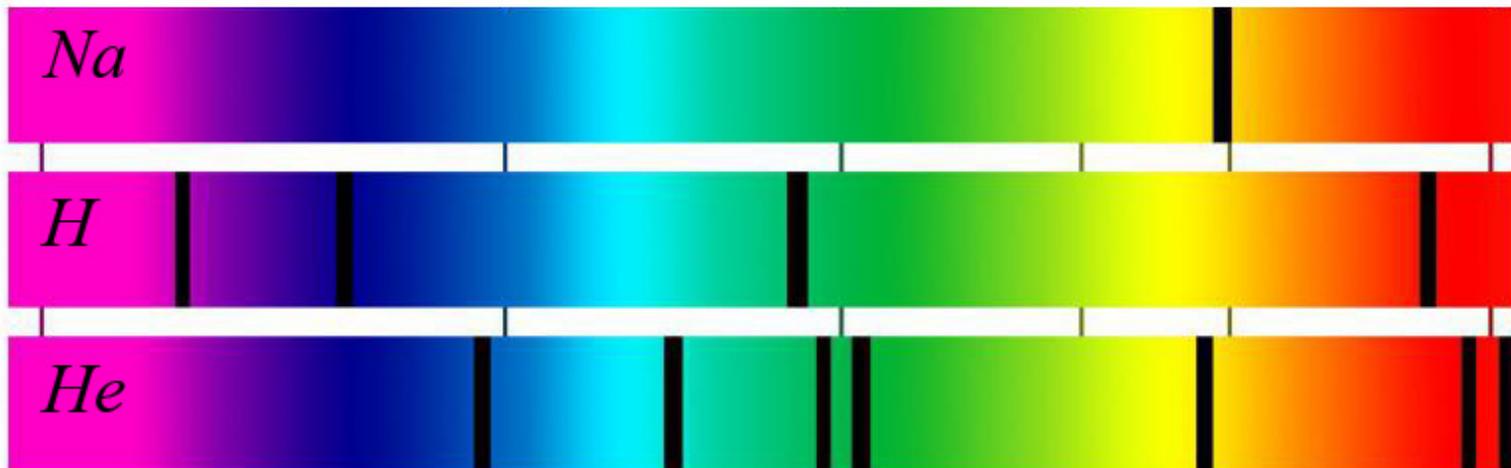
# Спектральный анализ

Спектры испускания: Проверка вещества на переизлучение



Спектры поглощения

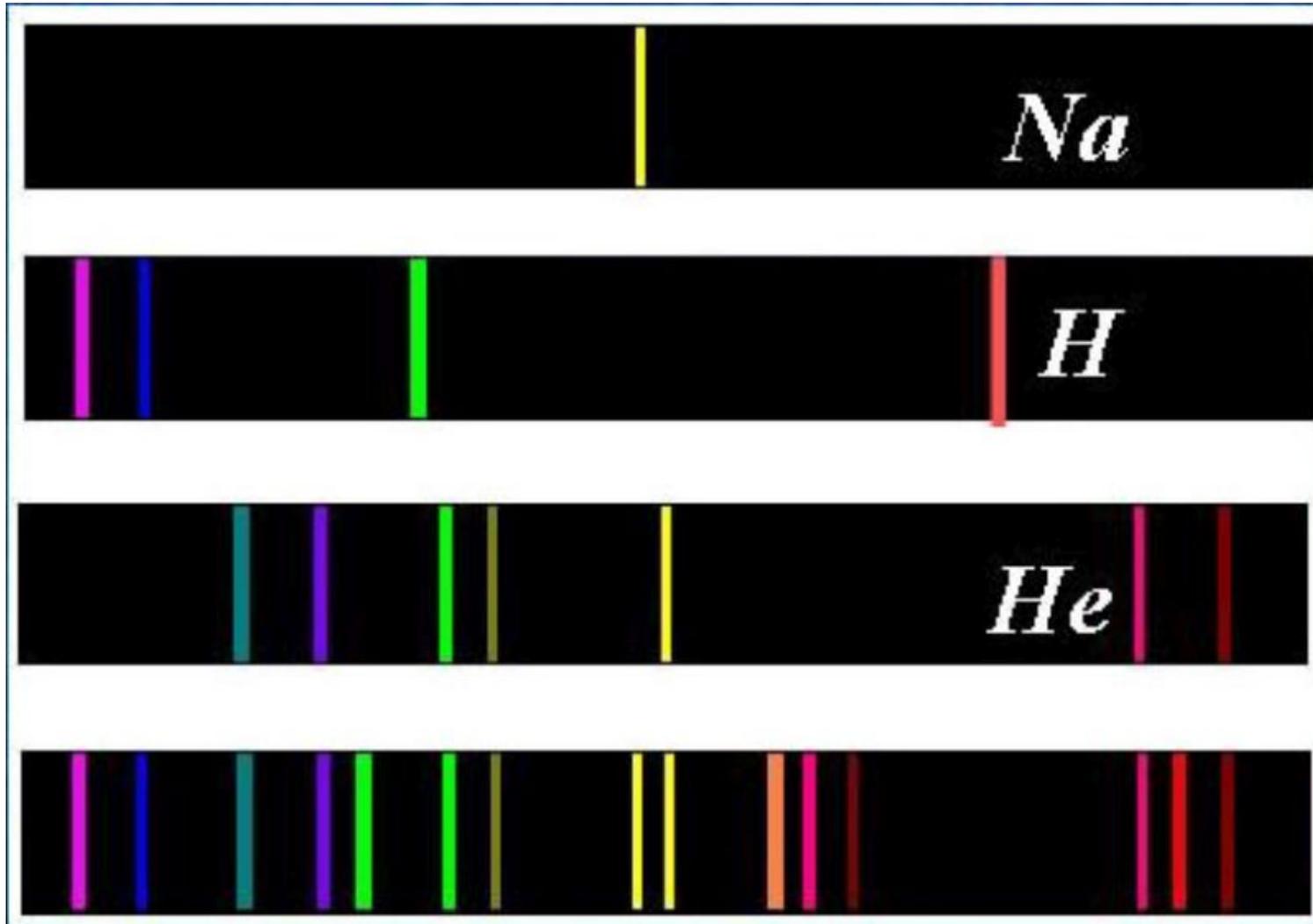
Проверка вещества на просвет



Любое вещество имеет свои частотные признаки

# Спектральный анализ

Спектр испускания



# Амплитудный анализ. Аналитическое описание актинометрических особенностей облачности

Мера оценки влияния облачности на солнечную радиацию:

- коэффициент изменения рассеянной радиации  $C_D = D/D_0$  (в спектроскопии подобен спектру испускания)
- коэффициент пропускания прямой радиации  $C_S = S/S_0$  (в спектроскопии подобен спектру поглощения)

$S$  и  $D$  – текущие значения,

$S_0$  и  $D_0$  – значения прямой и рассеянной радиации при безоблачном небе при одинаковой высоте стояния Солнца  $h$ .

# Цель работы

Автоматизация определения форм и видов облачности по данным актинометрических измерений в коротковолновом (280-2800 нм) диапазоне.

В перспективе - в ФАР диапазоне (400-700 нм).

# Задача

Для достижения поставленной цели необходимо выявить случаи, когда на небосводе находился только один определенный вид облачности и оценить его влияние на  $S$  и  $D$  при различном балле облачности



необходимость иметь синхронные ряды наблюдений за облачностью и за прямой и рассеянной радиацией.

# Наземная метеорологическая реперная сеть Росгидромета



454 пункта

# Срочные определения параметров облачности

Измерения производятся в  
определенные (синоптические) сроки:

00.00

03.00

06.00

09.00

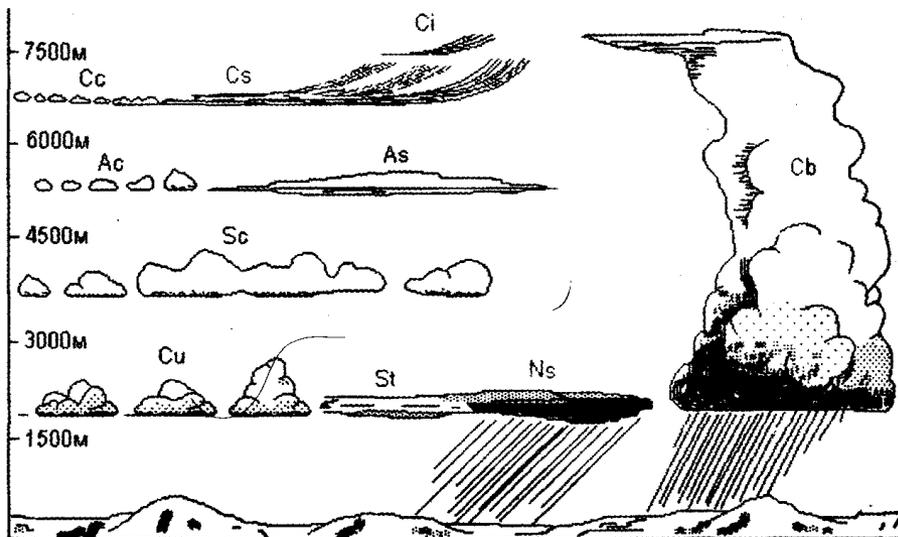
12.00

15.00

18.00

21.00 по единому времени.

Виды облаков



Определяемые параметры:

$n$ ,  $n_{\text{ниж}}$  и форма - визуально,

$h$  - визуально или инструментально.

# Сеть актинометрических станций Росгидромета



115 пунктов

# Срочные определения параметров солнечной радиации



Инструментально определяемые  
параметры:  $Q$ ,  $S$ ,  $D$ ,  $R_K$  и  $R_D$ .

Измерения производятся вручную в  
определенные сроки:

00.30

06.30

09.30

12.30

15.30

18.30

по среднему солнечному  
времени.

Наблюдения не синхронные – разница  $\pm 30$  мин.

# Автоматизированный актинометрический комплекс

Аналог комплексов *Baseline Surface Radiation Network*

Круглосуточные  
одноминутные измерения  
составляющих  
радиационного баланса:

1.  $Q$
2.  $S$
3.  $D$
4.  $R_K$
5.  $UV\_A$  (315 - 400 нм)
6.  $UV\_B$  (280 - 315 нм)
7.  $E_a$
8.  $R_D$



# Агрометеорологическая станция "А Огурцово"



Синоптический  
индекс 29638

Координатный  
номер 5498300

$h = 133$  м

# Измеритель общего балла облачности "Синева"



Архивы состояния неба с дискретностью от 1 сек.

# Измеритель общего балла облачности "Синева"



Инструментальное определение общего балла облачности

# Характерные и обычные особенности основных форм облачности

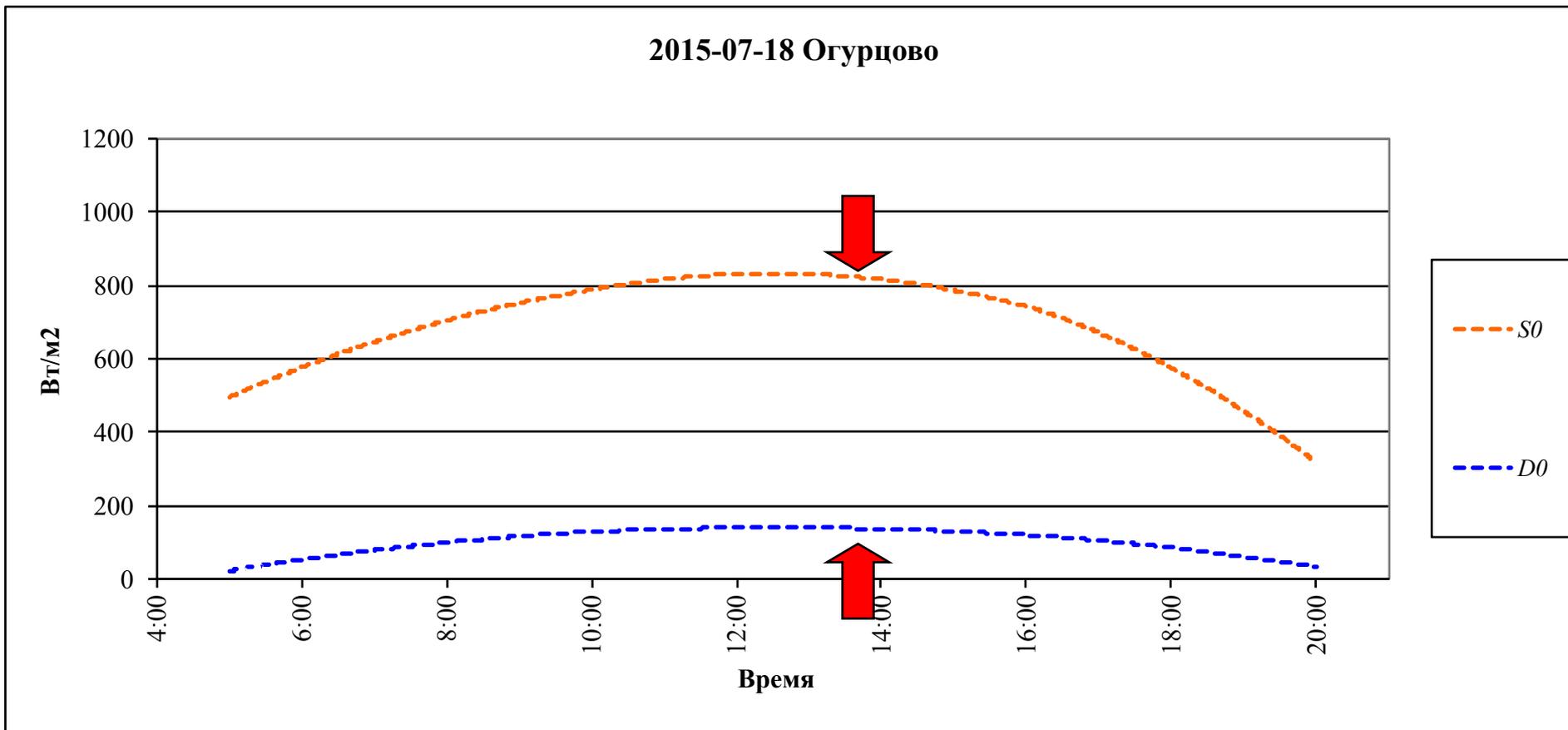
Форма облаков	Уменьшение прямой радиации $S$			Изменение рассеянной радиации $D$			
	слабое	значительное	сильное	увеличение			уменьшение
				слабое	значительное	сильное	
<i>Ci</i>	х			х			
<i>Cc</i>	х			х			
<i>Cs</i>	х			х			
<i>Ac</i>		х			х		
<i>As</i>			х		х	х	
<i>Ns</i>			х				х
<i>Sc</i>			х		х		
<i>St</i>		х	х		х	х	
<i>Cu</i>			х		х	х	
<i>Cb</i>			х	х			х

# Влияние облачности на $S'$ и $D$

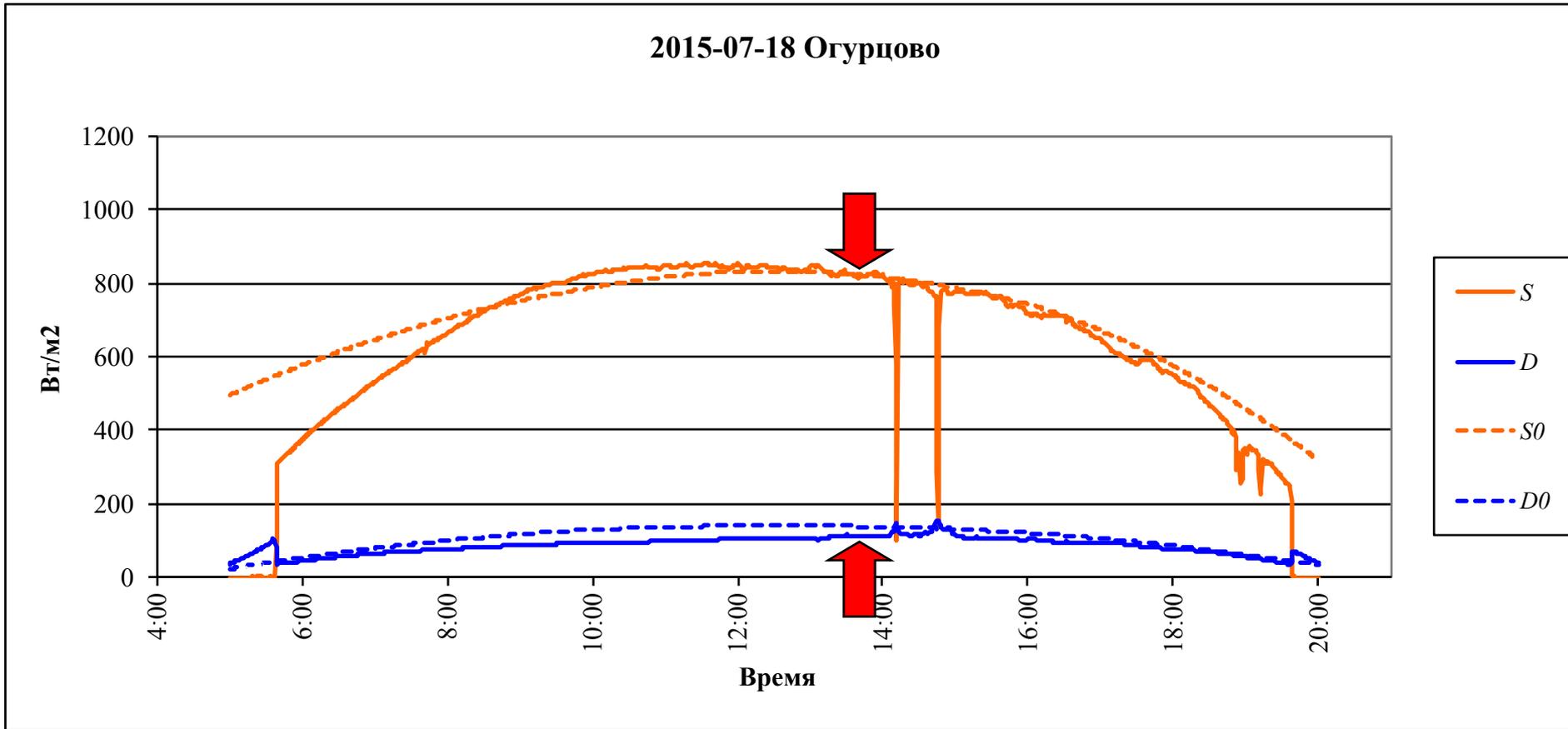


2015-07-18 Огурцово  
13:22 NSK

# Влияние облачности на $S'$ и $D$



# Влияние облачности на $S'$ и $D$



$$C_S = S/S_0 = 819 / 827 = 0,99$$

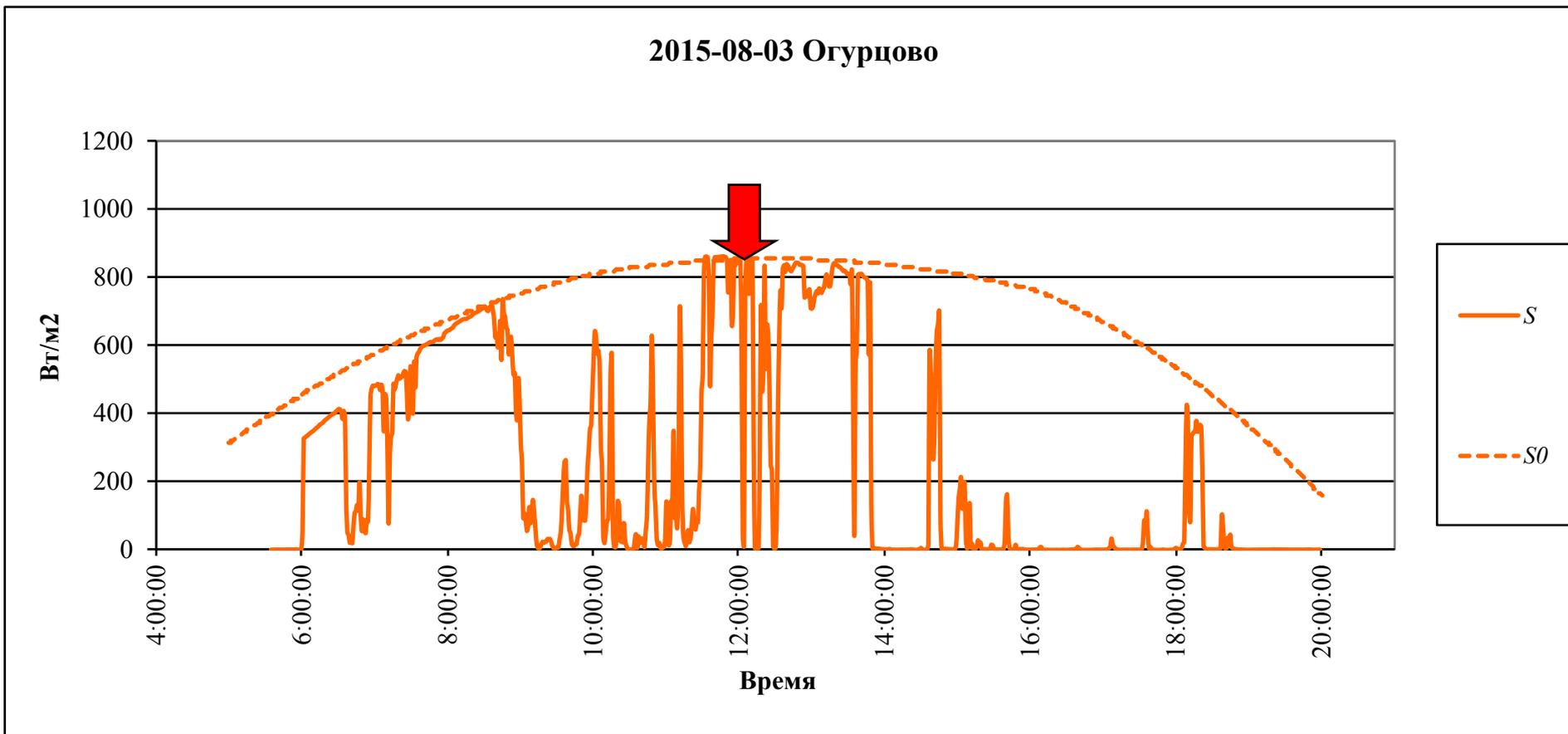
$$C_D = D/D_0 = 112 / 139 = 0,81$$

# Влияние облачности на $S'$ и $D$



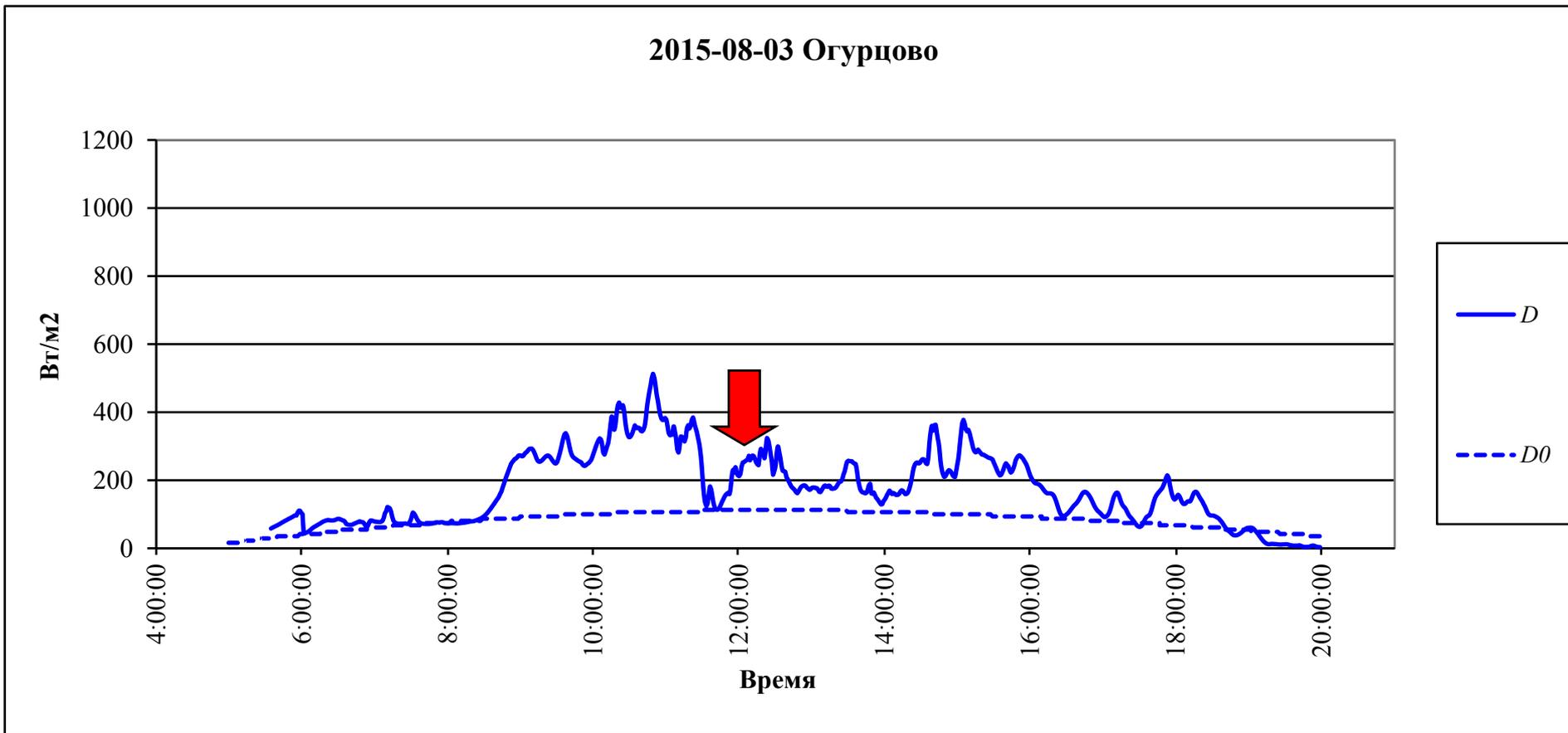
2015-08-03 Огурцово  
12:06 NSK

# Влияние облачности на $S'$ и $D$



$$C_S = S/S_0 = 851 / 851 = 1,00$$

# Влияние облачности на $S'$ и $D$



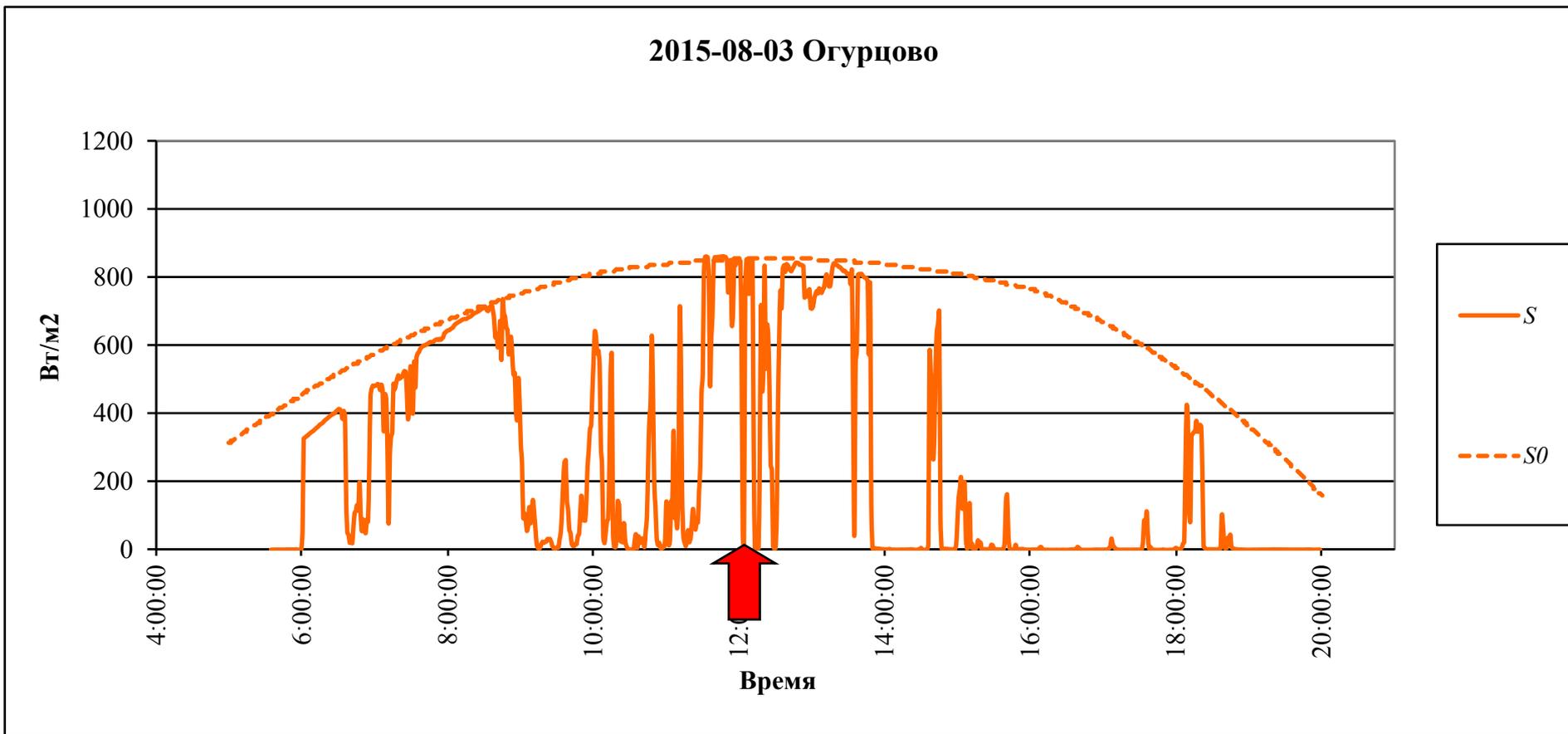
$$C_D = D/D_0 = 257 / 110 = 2,37$$

# Влияние облачности на $S'$ и $D$



2015-08-03 Огурцово  
12:04 NSK

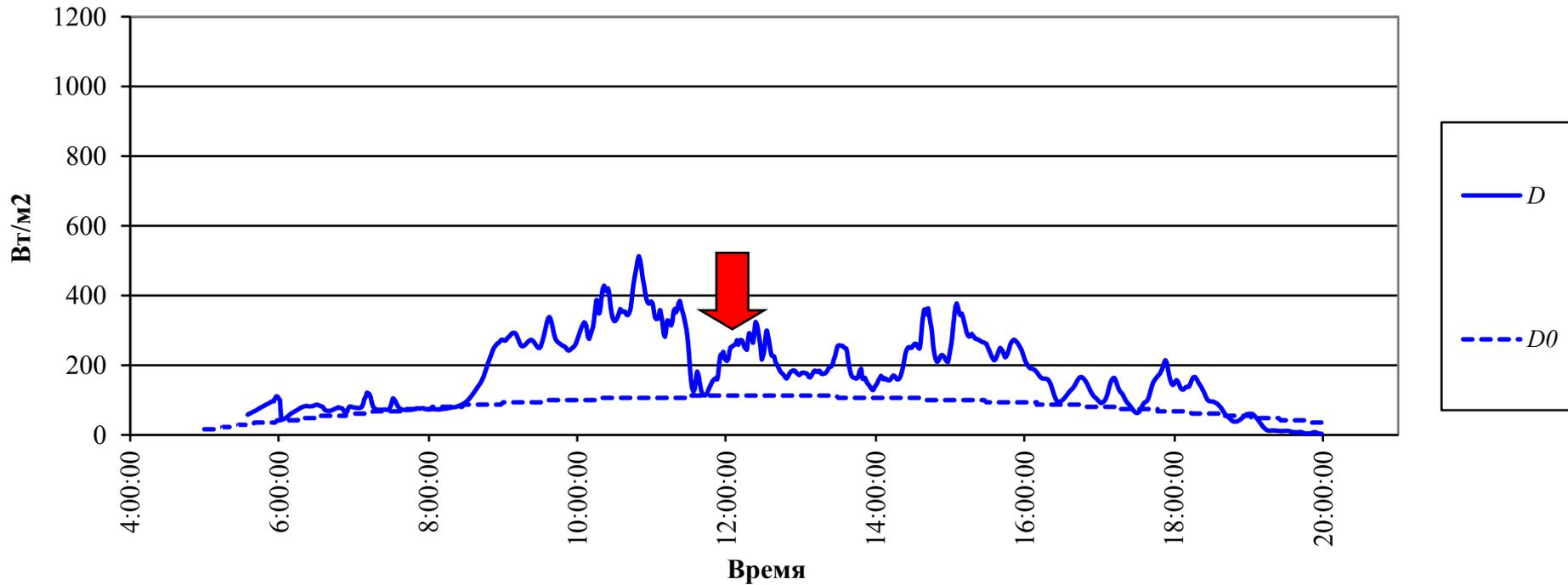
# Влияние облачности на $S'$ и $D$



$$C_S = S/S_0 = 13 / 851 = 0,02$$

# Влияние облачности на $S'$ и $D$

2015-08-03 Огурцово



$$C_D = D/D_0 = 252 / 110 = 2,29$$

# Диапазоны значений $C_S$ и $C_D$ для основных видов и разновидностей облачности

$C_D \backslash C_S$	$0 \leq C_D < 0,5$	$0,5 \leq C_D < 1,6$	$1,6 \leq C_D < 2,5$	$2,5 \leq C_D \leq 5$
$0 \leq C_S < 0,5$	<i>Cb<sub>med</sub></i> <i>Ns</i>	<i>As neb., neb. pr.</i> <i>Sc op.</i> <i>St fr.</i> <i>Cu<sub>low</sub></i> <i>Cb<sub>hi</sub></i>	<i>Ac</i> <i>As neb. op., und op.</i> <i>St</i> <i><u>Cu<sub>hi</sub></u></i> <i><u>Cb<sub>low</sub></u></i>	<i>Sc</i> <i>Cu<sub>med</sub></i>
$0,5 \leq C_S < 0,8$		<i>Ci sp. low</i> <i>Ci fib. hi</i> <i>Ci ing.</i>	<i>Cs fib.</i> <i>Ac und., trans., Ac</i> <i>floc.</i> <i>Ci sp. hi</i>	<i>Cs neb.</i> <i>As</i>
$0,8 \leq C_S \leq 1,2$		<i>Ci</i> <i>Ci fib. low</i> <i>Cc</i>		

# Статистические характеристики коэффициентов $C_S$ и $C_D$ для некоторых видов облачности

Вид облачности		N	$C_S$				$C_D$			
			Мин.	Ср.	Макс.	$\sigma$	Мин.	Ср.	Макс.	$\sigma$
1.	<u><math>C_{bhi}</math></u>	245	0	0,01	0,46	0,04	0,41	1,58	4,49	0,70
2.	<u><math>Cu\ fr.</math></u> *	28	0,72	0,92	1,06	0,10	1,16	1,62	2,43	0,34
3.	<u><math>Cu_{low}</math></u>	11	0,01	0,33	0,49	0,17	0,97	1,37	2,06	0,39
	<u><math>Cu_{low}</math></u> *	606	0,55	1,02	1,11	0,07	0,66	0,99	2,22	0,28
4.	<u><math>Cu_{med}</math></u>	232	0	0,12	0,55	0,17	1,08	1,94	3,06	0,46
	<u><math>Cu_{med}</math></u> *	409	0,55	0,97	1,10	0,13	1,00	1,93	3,55	0,48
5.	<u><math>Cu_{hi}</math></u>	31	0	0,07	0,46	0,13	1,47	2,35	3,71	0,79
6.	<u><math>Sc</math></u>	413	0	0,06	0,68	0,12	0,35	2,02	4,58	0,80
	<u><math>Sc</math></u> *	11	1,01	1,02	1,03	0,00	2,07	2,14	2,34	0,08
7.	<u><math>Ac\ floc.</math></u>	21	0,41	0,77	1,00	0,16	1,64	2,49	3,05	0,51
8.	<u><math>Ci\ sp.\ low</math></u> *	113	0,58	0,99	1,08	0,12	0,67	0,75	0,92	0,07
9.	<u><math>Ci\ sp.\ hi</math></u>	9	0,18	0,32	0,51	0,12	2,34	2,45	2,61	0,10
	<u><math>Ci\ sp.\ hi</math></u> *	12	0,55	0,77	0,99	0,15	2,35	2,58	2,66	0,10
10.	<u><math>Ci\ fib.\ low</math></u> *	276	0,83	1,02	1,07	0,05	0,64	0,88	1,15	0,18
11.	<u><math>Ci\ fib.\ hi</math></u>	69	0,07	0,40	0,55	0,11	1,11	1,86	2,33	0,28
	<u><math>Ci\ fib.\ hi</math></u> *	827590,99	0,55	0,81	1,05	0,13	1,15	1,60	2,76	0,34

\* - значения при открытом солнце  $\odot^2$ . N- количество измерений.

# Статистические характеристики коэффициентов $C_S$ и $C_D$ для некоторых видов облачности

Cloud types		N	$C_S$				$C_D$			
			min	mid	max	$\sigma$	min	mid	max	$\sigma$
1.	$Cb_{hi}$	245	0	0,01	0,46	0,04	0,41	1,58	4,49	0,70
2.	$Cu_{fr.}^*$	28	0,72	0,92	1,06	0,10	1,16	1,62	2,43	0,34
3.	$Cu_{low}$	11	0,01	0,33	0,49	0,17	0,97	1,37	2,06	0,39
	$Cu_{low}^*$	606	0,55	1,02	1,11	0,07	0,66	0,99	2,22	0,28
4.	$Cu_{med}$	232	0	0,12	0,55	0,17	1,08	1,94	3,06	0,46
	$Cu_{med}^*$	409	0,55	0,97	1,10	0,13	1,00	1,93	3,55	0,48
5.	$Cu_{hi}$	31	0	0,07	0,46	0,13	1,47	2,35	3,71	0,79

\* - значения при открытом солнце  $\odot^2$ . N- количество измерений.

# Заключение

Использование коэффициентов изменения рассеянной радиации  $C_D = D/D_0$  и пропускания прямой радиации  $C_S = S/S_0$  позволяет автоматизировать процесс определения форм и видов облачности по данным актинометрических измерений в коротковолновом (280-2800 нм) диапазоне (в перспективе - в ФАР диапазоне (400-700 нм)).

Работа выполняется в рамках проектов VII.77.1.2 "Погодно-климатические изменения в Сибири и Арктике в условиях аэрозольных нагрузок и VIII.80.2.2. "Научные основы создания оптических, акустических и электронных приборов, комплексов и систем для метеорологических измерений и технологии их применения в задачах мониторинга окружающей среды".

Автор выражает признательность руководству и сотрудникам ФГБУ "Западно-Сибирское УГМС" (г. Новосибирск) и агрометеорологической станции "А Огурцово" за предоставленные данные измерений.



# Актинометрические признаки основных форм облачности

Зуев С. В., Красненко Н.П., Карташова Е.С.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, г. Томск,  
пр. Академический, д. 10/3

[zuev@imces.ru](mailto:zuev@imces.ru)