

УДК 551.521.681.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПО ИХ СПЕКТРАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2018 г. Алленов М. И., Новиков Н. Н., Якименко И. В.

Приводятся результаты исследований элементов природной среды при помощи запатентованной аппаратуры с высоты 300 метров (с высотной метеорологической мачты 310 г. Обнинск). Оцениваются признаки распознавания элементов среды по спектральной и временной структуре энергетической яркости.

Ключевые слова: атмосфера, излучение, полусфера, отражение, спектральная изменчивость, составляющие ландшафта, признаки, патенты, изобретения.

Вопросам параметризации состояния пространственно-временных структур излучения (отражения, рассеяния) облачности, подстилающей поверхности с разнообразным ландшафтным рельефом и морфологическим строением посвящено большое количество работ. Многие из них освещены в монографиях [1-5]. Однако интерес к проблеме параметризации различных сред все острее обсуждается на различных Международных, Всероссийских и других конференциях и симпозиумах.

В наших работах обсуждаются также методологические аспекты исследований природных сред: в частности, облачности, элементов ландшафта, водных объектов, загрязненных различными поверхностными активными веществами (ПАВ) и многие другие составляющие природных сред.

В статье приводятся результаты исследований состояния элементов ландшафта с высотной метеорологической мачты высотой 310 метров. В дополнение к опубликованным ранее в [1,3] данным разработана методика оптимизации спектральных и временных интервалов между измерениями характеристик спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) элементов ландшафта, заключающаяся в сравнении характеристик СПЭЯ при различных смещениях по времени с эталонными реализациями СПЭЯ, измеренными в различные часы с 09.00 до 16.00 часов московского времени при безоблачных условиях. Методика позволяет также проследить временные изменения СПЭЯ элементов ландшафта при различных положениях Солнца относительно каждого из них и при различных метеорологических условиях. При этом повышается качество измерений и сокращается объем характеристик СПЭЯ: средних значений, дисперсий флуктуаций, пространственных спектров – (распределений дисперсий флуктуаций по пространственным частотам – волновым числам), корреляционных и взаимно-корреляционных

функций СПЭЯ между флуктуациями для различных интервалов длин волн в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах.

Результаты долговременных сезонных измерений позволяют проследить смещение по спектру длин волн СПЭЯ для различных элементов ландшафта: травы, леса, полей культурных и других растений, находящихся на полигоне высотной метеорологической мачты. Как показали исследования академика К. Я. Кондратьева и его учеников важная особенность селективного поглощения солнечного излучения в коротковолновой области 0.330 – 0.480 мкм связана с всплесками солнечного излучения, которые достигают Земли через 15 – 20 минут максимальных значений и создают кластеры (уплотнения водяного пара) и скачкообразно влияют на отражение и поглощение растительных покровов Земли. Поэтому в центрах полос поглощения 0.390, 0.430, 0.480 мкм эти сгустки паров воды то разрушаются, то образуются вновь. Создается изменчивая селективная активность поглощения и отражения солнечного излучения в растениях, связанная с изменением молекулярных связей. Возможно, такие изменения могут проявляться не только в процессе фотосинтеза, т. е. в видимой, но и в других областях спектра. Эти измерения позволяют выявить признаки, по которым возможна более точная объективная параметризация состояния ландшафта (появление листвы, стадии развития растений, зрелость, болезни, архитектуру растений).

На рисунке 1 приводится такая наглядная информация, заимствованная из нашей монографии [3], см. стр. 52.

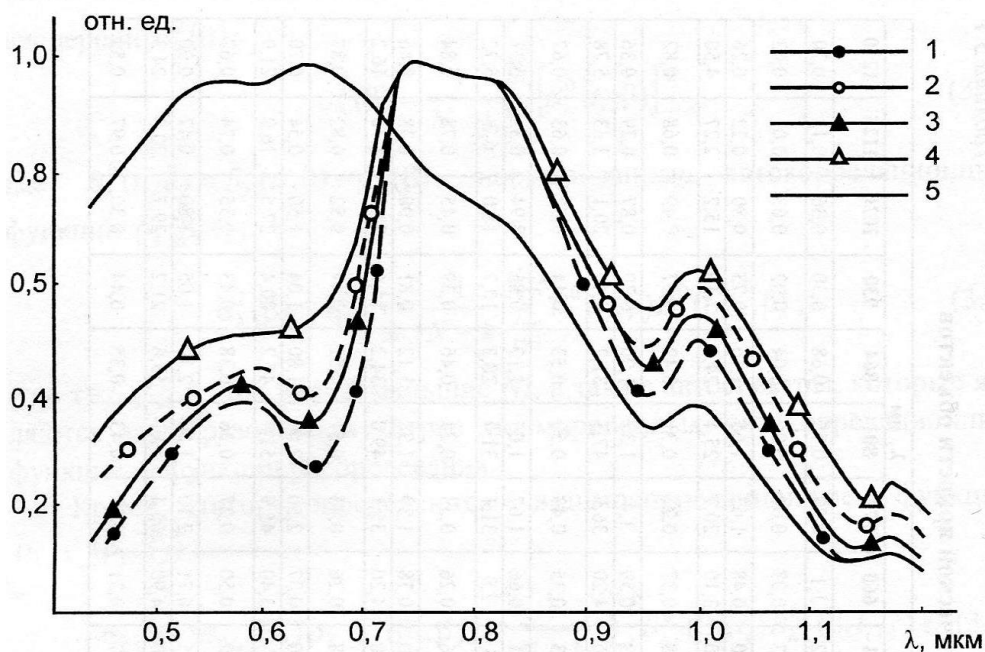


Рисунок 1 - Спектральная плотность энергетической яркости (отн. Ед) элементов ландшафта:

- 1 – трава (весна); 2 – трава (осень); 3 – озимая пшеница (весна);
4 – озимая пшеница (август); 5 – подзолистая почва

Следует особо отметить, что даже при безоблачном небе угловое по зенитному углу излучение изменчиво и часто различается для одних и тех же зенитных углов θ в широком интервале θ (50-80°). Это особенно заметно в окрестностях полос поглощения атмосферы в видимом и ИК диапазонах, короче 3мкм. Значительно оно изменяется в области собственного излучения в спектре длин волн, длиннее 3мкм и наиболее сильно в диапазоне 8 – 13мкм, что связано с аэрозольным замутнением атмосферы. Для таких измерений был создан комплекс аппаратуры [3] и измерительный прибор – широкоугольный спектрорадиометр [6], позволяющий одновременно регистрировать спектральную полусферическую энергетическую яркость и распределение яркости по круговым зенитным зонам небосвода, в том числе, и по азимутальным углам. То есть спектрорадиометр позволяет регистрировать излучение в каждой локальной области небосвода. Процедура одновременного измерения излучения в полусфере и в каждой точке полусферы обеспечивается при помощи частотного растра, частотной маски и системы регистрации измерительной информации. Прибор защищен патентом РФ на изобретение. Наиболее полно его функциональные возможности и конструктивные решения описаны в [3] см. стр.168-172. Здесь приведем таблицу 1 из [3] с результатами, исключенными в следствии сильного ослабления корреляционных связей СПЭЯ в полосах поглощения солнечного излучения: кислорода (0.711) мкм, воды (0.93) мкм и 0.43мкм из-за сильного рассеяния.

Таблица 1.

Коэффициенты взаимной корреляции (период весна – лето)

λ , мкм	λ , мкм							
	0.544	0.660	0.772	0.801	0.864	1.020	1.125	1.210
	Трава							
0.544	1.00	0.78	0.70	0.70	0.72	0.76	0.73	0.80
0.660		1.00	0.35	0.37	0.39	0.41	0.36	0.43
0.772			1.00	0.99	0.98	0.91	0.86	0.88
0.801				1.00	0.99	0.92	0.80	0.89
0.864					1.00	0.95	0.82	0.92
1.020						1.00	0.89	0.98
1.125							1.00	0.98
1.210								1.00
	Пшеница							
0.544	1.00	0.77	0.83	0.84	0.84	0.83	0.78	0.81
0.660		1.00	0.41	0.39	0.40	0.42	0.30	0.30
0.772			1.00	0.98	0.98	0.96	0.74	0.93
0.801				1.00	0.99	0.97	0.83	0.94
0.864					1.00	0.98	0.84	0.95
1.125							1.00	0.97

1.210								1.00
								Лес
0.544	1.00	0.82	0.94	0.93	0.93	0.91	0.81	0.90
0.660		1.00	0.65	0.71	0.73	0.72	0.67	0.70
0.772			1.00	0.98	0.98	0.92	0.80	0.86
0.801				1.00	0.98	0.94	0.82	0.87
0.864					1.00	0.94	0.80	0.87
1.020						1.00	0.88	0.94
1.125							1.00	0.86
1.210								1.00

Спектрометр со сканирующей платформой размещался на высотной метеорологической мачте на высоте 300 метров. Сканирование осуществлялось в интервале надирных углов, равном $\sim 30^\circ$ (от 72° до 42°). Пространственное разрешение спектрорадиометра составляло около 15мин дуги. Сканирование трассы продолжалось около 20с. Квантованные реализации проводились с шагом 12 – 15мин., т.е. реализация представлялась 120 отсчетами. На каждом участке трассы, соответствующем элементу разрешения прибора, измерялось 12 значений спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) на 12 длинах волн: 0.43; 0.482; 0.544; 0.660; 0.711; 0.772; 0.801; 0.864; 0.930; 1.020; 1.125; 1.210 мкм.

Измерения проводились в облачные и безоблачные дни. В облачные дни сканирование трассы проводилось непрерывно через каждые 10 – 20мин., в безоблачные дни сканирование осуществлялось с интервалом 30 – 60мин.

Здесь приведены результаты измерений по той же методике, что и в [1]. Она предусматривала измерения СПЭЯ на трассе в один из безоблачных дней в различное время с 9 до 16 ч. Эти реализации принимались за эталонные. Затем проводились такие же измерения в другие солнечные безоблачные и облачные дни. При безоблачных условиях эталонные реализации были получены для семи значений времени: в 9, 10, 11, 12, 13, 14 и 16 ч. Всего использовались в расчетах 84 эталонных реализации. В таблице 2 приведено лишь несколько корреляционных матриц для отдельных длин волн и временных интервалов от 1 до 7 ч., полученных по эталонным реализациям. Как видно из таблицы 2, устойчивые связи наблюдаются на длинах волн: 0.660; 0.772; 0.801; 0.864 и 1.210мкм с 11 до 14 ч. Коэффициент взаимной корреляции в основном превосходит значение 0.9. На длинах волн 0.430 и 0.544 мкм, а так же 0.930 мкм (полоса поглощения воды) для этих временных интервалов коэффициенты заметно меньше, чем на других длинах. Коэффициент корреляции определялся по формуле

$$r_{k,k_0,\lambda_n} = \frac{\sum_{i=1}^N B_i^{k,\lambda_n} B_i^{k_0,\lambda_n} - N \overline{B^{k,\lambda_n}} \overline{B^{k_0,\lambda_n}}}{\left\{ \left[\sum_{i=1}^N (B_i^{k,\lambda_n})^2 - N (\overline{B^{k,\lambda_n}})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (B_i^{k_0,\lambda_n})^2 - N (\overline{B^{k_0,\lambda_n}})^2 \right] \right\}^{1/2}},$$

где λ_n – номер длины волны; k – номер реализации; k_0 – номер эталонной реализации для длины волны λ_n с номером n ; $B_i^{k,\lambda_n}, B_i^{k_0,\lambda_n}$ – значения энергетической яркости в i -й точке и k -й эталонной реализации, соответственно, для волны λ_n ; $\overline{B^{k,\lambda_n}}$ – среднее значение энергетической яркости для реализации k и длины волны λ_n ; $\overline{B^{k_0,\lambda_n}}$ – среднее значение энергетической яркости для эталонной реализации k_0 с длиной волны λ_n .

Таблица 2

Коэффициенты взаимной корреляции для различных временных интервалов (для травы и травы с кустарником)

Время, ч	Время, ч						
	9	10	11	12	13	14	16
$\lambda=0.544$ мкм							
9	1.00	0.76	0.62	0.58	0.50	0.46	0.51
10		1.00	0.83	0.75	0.66	0.60	0.61
11			1.00	0.90	0.80	0.73	0.70
12				1.00	0.92	0.84	0.73
13					1.00	0.93	0.80
14						1.00	0.90
16							1.00
$\lambda=0.66$ мкм							
9	1.00	0.81	0.74	0.68	0.64	0.62	0.66
10		1.00	0.86	0.81	0.74	0.70	0.72
11			1.00	0.96	0.90	0.84	0.76
12				1.00	0.98	0.93	0.81
13					1.00	0.96	0.86
14						1.00	0.89
16							1.00
$\lambda=0.772$ мкм							
9	1.00	0.80	0.73	0.66	0.62	0.58	0.62
10		1.00	0.84	0.79	0.72	0.66	0.66
11			1.00	0.95	0.92	0.86	0.77
12				1.00	0.96	0.92	0.80
13					1.00	0.95	0.83
14						1.00	0.91

16								1.00
$\lambda=0.801$ мкм								
9	1.00	0.81	0.73	0.66	0.60	0.54	0.54	
10		1.00	0.84	0.78	0.72	0.66	0.60	
11			1.00	0.95	0.90	0.86	0.80	
12				1.00	0.96	0.93	0.86	
13					1.00	0.95	0.88	
14						1.00	0.91	
16								1.00
$\lambda=0.864$ мкм								
9	1.00	0.81	0.72	0.68	0.62	0.55	0.58	
10		1.00	0.84	0.80	0.72	0.68	0.69	
11			1.00	0.96	0.91	0.86	0.82	
12				1.00	0.97	0.93	0.88	
13					1.00	0.96	0.89	
14						1.00	0.92	
16								1.00
$\lambda=1.210$ мкм								
9	1.00	0.81	0.74	0.67	0.62	0.54	0.58	
10		1.00	0.85	0.81	0.73	0.67	0.69	
11			1.00	0.95	0.93	0.88	0.81	
12				1.00	0.96	0.93	0.85	
13					1.00	0.95	0.86	
14						1.00	0.92	
16								1.00

В этой статье не приведены результаты сравнения СПЭЯ по дням и декадам при различных метеорологических условиях. Отметим, что облачность верхнего яруса при регистрации корреляционных связей СПЭЯ для временного смещения производится надежно, освещенность по полусфере неба, в основном, равномерна и параметризация состояния статистически устойчива т.е. признаки распознавания повторяются. При кучевой (Cu) и слоисто-кучевой (Sc) облачности статистическая устойчивость нарушается, так как освещенность элементов ландшафта весьма изменчива. Такие измерения можно проводить лишь в появившихся просветах, что является сложными условиями для обеспечения надежности исследований. Здесь приводится рисунок 2 из [10] см. стр. 88, где освещена изменчивость метеорологических параметров при движении кучево-дождевого облака над полигоном высотной метеомачты. При этом СПЭЯ по трассе наблюдений изменяется почти на порядок т.е. в 8-10 раз.

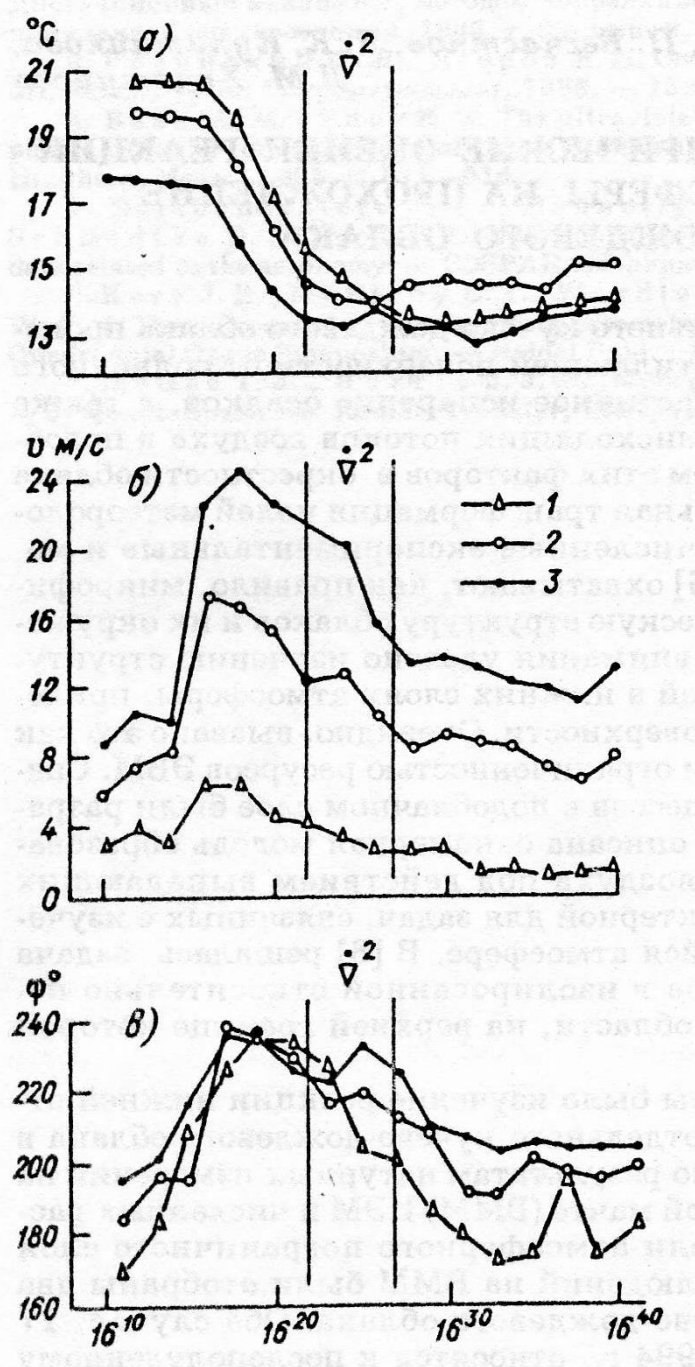


Рисунок 2 – Временной ход температуры воздуха (а), скорости (б) и направления ветра (в) при прохождении облака 17 июля 1990г.
1) $z = 25$ м, 2) $z = 121$ м, 3) $z = 301$ м.

В заключении отметим, что результаты исследований пространственно-временных структур различных форм и количества облачности защищены патентами России на изобретения [6-9] и внедрены в практических задачах метеорологии и других направлениях исследований природных сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алленов М. И. Структура оптического излучения природных объектов. М.: Гидрометеиздат, 1988.- 165с.
2. Алленов М. И. Методы и аппаратура спектрорадиометрии природных сред. М.: Гидрометеиздат, 1992. – 264 с.
3. Алленов М. И., Бирюков В. Г., Иванов В. Н. Распознавание природных сред, веществ и их загрязнений. – СПб.: Гидрометеиздат, 2004. - 268с.
4. Алленов М. И. Параметризация природных сред для их распознавания.- Обнинск, 2011. – 180 с.
5. Алленов М. И., Иванов В. Н., Третьяков Н. Д. Параметризация структур излучения и эволюции облачности. - Обнинск, 2013. -168 с.
6. Патент № 2125250 (РФ) G 01 J 3/28. Широкоугольный спектрорадиометр. /Алленов А. М., Богданович С. А., Иванов В. Н., Гусев А. И. Соловьев В. А., Третьяков Н. Д. //Заявлен 11.08.1997 г. Опубликовано 20.01.1999 г. Бюл. № 2.
7. Патент № 2331853 (РФ) G 01 J 3/06. Устройство распознавания форм облачности. /Алленов М. И., Иванов В. Н., Третьяков Н. Д. //Заявлен 13.04.2006 г. Опубликовано 20.08.2008 г. Бюл. № 23.
8. Патент № 2414728 (РФ) G 01 W 1/00, G 01 S 17/95. Способ определения направления и скорости движения нижней границы облачности /Алленов М. И., Артюхов А. В., Иванов В. Н., Третьяков Н. Д. //Заявлен 22.05.2009 г. Опубликовано 27.11.2010 г. Бюл. № 33.
9. Патент № 2497159 (РФ) G 01 W 1/00. Способ определения высоты нижней границы облачности. /Алленов М. И., Иванов В. Н., Третьяков Н. Д., Федоров В. О. //Заявлен 22.07.2011 г. Опубликовано 27.01.2013 г. Бюл. № 3.
10. Бесчастнов С. П., Кулижникова Л. К., Хачатурова Л. М. Модельные и эмпирические оценки реакции нижней атмосферы на прохождение кучево-дождевого облака. //Труды ИЭМ, СПб.: Гидрометеиздат, 1997. - Вып. 28(163). - 168 с.

DETERMINATION OF SIGNS OF RECOGNITION OF ELEMENTS OF NATURAL WEDNESDAYS ON THEIR SPECTRAL STRUCTURE OF RADIATION

Allenov M. I., Novikov N. N., Jakimenko I. V.

Results of researches of elements of the environment by means of the patented equipment from height of 300 meters are given (from a high-rise meteorologicheskyy mast of 310 g. Obninsk). Signs of recognition of elements of the environment on spectral and temporary structure of power brightness are estimated.

Key words: atmosphere, radiation, hemisphere, reflection, spectral variability, landscape components, signs, patents, inventions.

Кафедра «Электромеханические системы»
Филиал ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске
Поступила в редакцию 2.11.2018