

Ю.Л. Матвеев, Е.Ю. Матвеева, Н.В. Червякова

О РОЛИ ОБЛАКОВ В ФОРМИРОВАНИИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ

Yu. L. Matveev., E. Yu. Matveeva, N. V. Cherviakova

ABOUT THE ROLE OF CLOUDS ON THE FORMATION OF GLOBAL ATMOSPHERE TEMPERATURE FIELD

Измерения количества облаков (n) со спутников и наблюдения температуры воздуха (T) на мировой сети метеорологических станций использованы для оценки роли облаков в формировании и колебаниях климата Земли и различных ее частей.

Тесные корреляционные связи между n и T (большинство коэффициентов корреляции превышает 0,20–0,30, нередко случаи, когда они больше 0,50 и даже 0,70) указывает на то, что формирование поля температуры планеты определяющую роль играют облака и, согласно данным монографии (Матвеев Л.Т., 2005), водяной пар. Вклад углекислого газа и других парниковых газов в изменение температуры на 1-2 порядка меньше влияния облаков и водяного пара.

Ключевые слова: количество облаков, спутниковые наблюдения, климат Земли, приземная температура, эффективность корреляции.

Measurements of cloud amount(n) from satellite and observation of temperature (T) on the world meteorological stations used for valuation of role of clouds on the formation and oscillation of Earth climate and its different parts.

Cramped correlation connections between n and T (most of correlation coefficients more than 0,20–0,30, not infrequent, when its more 0,50 or even 0,70) indicates that formation of temperature field of planet the base role play clouds and as for data from monograph (Matveev L.T., 2005) water vapor. Investment of CO_2 and another greenhouse gases to the change of temperature is for 1-2 order less than influence of clouds and water vapor.

Key words: amount of clouds, satellite observations, Earth's climate, surface temperature, efficiency of correlation.

Проблема изменения климата Земли относится к числу актуальных в отечественной и мировой науке. Она широко обсуждается на самых различных уровнях. Не ставя цели хотя бы краткого обзора литературы, назовем здесь лишь фундаментальные монографии [Григорьев, 2001; Кондратьев, 1999] с обзором многочисленных зарубежных работ, а также сборник [Климатические изменения..., 2003], в котором представлены некоторые результаты отечественных исследований.

Несмотря на многочисленность работ, общего взгляда на проблему изменения климата не выработано (сошлемся на доклады и материалы Международной конференции по климату, проведенной в Москве в конце 2001 г.). Мы поставили задачу обсудить причины (факторы) изменения климата на основе спутниковых и метеорологических наблюдений.

Спутниковые наблюдения за облаками в период с 1966 по 1994 г. и измерения приземной температуры воздуха на мировой сети станций за тот же период

использованы для установления статистических связей между полями этих двух метеорологических величин.

Результаты расчета коэффициентов корреляции (r) между приземной температурой воздуха (T) и общим количеством облаков (n), фиксируемым со спутников в оптическом и инфракрасном интервалах длин волн, приведены в табл. 1–3. Расчет выполнен по средним месячным значениям T и n в узлах географической сетки размером 5° широты и 10° долготы ($5 \times 10^\circ$).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между приземной температурой воздуха и количеством общей облачности в Северном полушарии (всюду N – объем выборки). 1966–1994 гг.

Территория		Зима	Весна	Лето	Осень	Год	$10^{-2} N$				
							Зима	Весна	Лето	Осень	Год
по-луша-рие	суша	0,06	0,12	-0,35	-0,19	0,04	194	194	192	182	762
	океан	0,47	0,40	-0,08	0,18	0,34	322	320	321	304	1267
	в целом	0,37	0,31	-0,22	0,05	0,23	516	514	513	487	2029
Север (90–42,5°)	суша	0,64	0,62	-0,05	0,37	0,51	116	117	117	110	460
	океан	0,86	0,79	0,26	0,71	0,75	143	144	146	138	572
	в целом	0,79	0,71	-0,02	0,54	0,62	259	261	263	218	1032
Юг (42,5–0°)	суша	-0,17	-0,22	-0,41	-0,05	-0,09	78	77	75	64	303
	океан	-0,38	-0,38	-0,19	-0,21	-0,28	178	176	175	148	695
	в целом	-0,07	-0,34	-0,40	-0,11	-0,18	257	261	251	213	998

Чтобы увеличить статистическую значимость корреляционных связей, сезонные и годовые значения r определены для крупных территорий полушария в целом, его северной (90–42,5° с.ш.) и южной (42,5–0° с.ш.) частей, а также для каждой части света, каждого океана, для всей суши и Мирового океана (с разделением их на северную и южную части). По данным табл. 1–3, значения r изменяются в широких пределах: от близких к нулю до 0,70–0,80. Наиболее характерной особенностью изменения r является хорошо выраженная зависимость корреляционной связи от сезона года и географической широты.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между приземной температурой воздуха и количеством общей облачности в частях света Северного полушария. 1966–1994 гг.

Часть света		Зима	Весна	Лето	Осень	Год	$10^{-2} N$				
							Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Азия	север	0,41	0,54	-0,38	0,29	0,48	49	50	50	47	196
	юг	-0,43	-0,40	-0,37	-0,30	-0,15	33	33	32	30	129
	в целом	-0,01	0,06	-0,47	-0,25	0,04	82	83	82	77	325
Северная Америка	север	0,70	0,69	-0,25	0,26	0,55	33	34	34	32	133
	юг	0,24	0,09	-0,21	0,18	0,10	17	17	16	16	66
	в целом	0,48	0,44	-0,34	-0,12	0,31	51	51	50	48	199
Европа	в целом	0,31	-0,02	-0,60	-0,34	-0,19	18	18	19	17	73
Африка	в целом	0,14	0,09	-0,42	0,02	0,05	26	26	25	24	102

Коэффициенты корреляции между приземной температурой воздуха и количеством общей облачности на океанах Северного полушария. 1966–1994 гг.

Океан		Зима	Весна	Лето	Осень	Год	10 ⁻² N				
							Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Атланти- ческий	север	0,81	0,60	-0,27	0,18	0,43	32	33	33	32	130
	юг	-0,33	-0,30	-0,11	-0,18	-0,29	56	54	54	53	218
	в целом	0,00	-0,15	-0,46	-0,43	-0,23	88	87	87	85	348
Тихий	север	0,69	0,57	0,01	0,23	0,38	26	26	27	25	105
	юг	-0,31	-0,38	-0,26	-0,22	-0,29	103	102	102	95	402
	в целом	-0,23	-0,34	-0,33	-0,32	-0,29	129	129	129	120	507
Индий- ский	в целом	0,53	0,13	-0,46	-0,01	0,19	20	19	18	18	75
Северный Ледовитый	в целом	0,73	0,62	0,16	0,73	0,70	84	85	86	82	337

Согласно теории [Григорьев, 2001], при положительном тепловом балансе земной поверхности, когда определяющую роль играет приток солнечной радиации, увеличение количества облаков (n) сопровождается уменьшением радиационного баланса (R) и понижением температуры воздуха в приземном слое, уменьшение n – ростом температуры. При отрицательном тепловом балансе, когда определяющую роль играет эффективное (инфракрасное) излучение, соотношение между изменениями n и T обратное: увеличение n сопровождается снижением радиационных потерь земной поверхности и ростом температуры воздуха в приземном слое, уменьшение n – понижением T .

Данные табл. 1–3 находятся в согласии с этим заключением: зимой, весной и осенью в северных частях полушария, всех частей света и океанов, когда тепловой баланс в среднем за сезон меньше нуля (земная поверхность получает тепла меньше, чем теряет), все без исключения коэффициенты корреляции больше нуля ($r > 0$): увеличение n сопровождается ростом температуры.

Подавляющее большинство приведенных в табл. 1–3 коэффициентов корреляции – статистически значимые. Это следует из оценок квадратических отклонений σ_r этих коэффициентов по соотношению: $\sigma_r = (1 - r^2) / \sqrt{N}$. Здесь N – объемы выборок, привлеченных для расчета r . Они изменяются в широких пределах по данным тех же табл. 1–3: от 1500–2500 для Европы, Африки, Северной Америки, Индийского океана до 10–20 тыс. для Азии, Тихого океана, Северной и Южной частей полушария. Полагая N равным минимальному (из всех использованных при расчете r) значению (1800), а r равным 0,10, найдем $\sigma_r = 0,023$.

При всех $N > 1800$ и $r > 0,10$ квадратическое отклонение $\sigma_r < 0,023$. Все значения r , превышающие по модулю $3\sigma_r$, т.е. 0,07–0,08, статистически значимы. Только значения r меньше (по модулю) 0,08 следует считать статистически незначимыми. В табл. 1–3 таких r 13 значений из общего числа, равного 125. Таким образом, в 90 % представленная в северных частях полушария, матери-

ков и океанов зимой, весной и осенью статистическая связь между количеством облаков и температурой воздуха – положительная.

На океанах и полушарии в целом в эти сезоны связь между n и T также положительная: коэффициенты $r > 0$ и достаточно, особенно зимой и весной, велики. На материках связь между n и T зимой и весной также положительная, хотя и более слабая, чем на океанах, осенью же эта связь отрицательная.

Летом, при положительном радиационном балансе, практически всюду, за исключением Северного Ледовитого океана и северной части Мирового океана (где и летом радиационный баланс за сезон отрицателен), статистическая связь между n и T отрицательная.

В южных частях полушария, Азии, Тихого и Атлантического океанов корреляционная связь между T и n во все сезоны меньше нуля: увеличение n сопровождается понижением T . В Европе эти коэффициенты во все сезоны, кроме зимы, также отрицательные.

В среднем за год связь между n и T положительная в северных частях как полушария, так и всех материков и океанов, отрицательная – в южных частях тех же территорий (исключение составляет юг Северной Америки).

По полушарию в целом сезонные коэффициенты корреляции положительны зимой, весной и осенью, отрицательны – летом. Связь между n и T в северной части полушария (равно как Азии, Северной Америки, Атлантического и Тихого океанов) существенно более тесная, чем в южной части: годовые коэффициенты корреляции равны 0,62 на севере и –0,18 на юге (в Азии 0,48 и –0,15, в Северной Америке 0,55 и 0,10, в Атлантическом океане 0,43 и –0,29, в Тихом океане 0,38 и –0,29 соответственно).

Поскольку число узлов в каждой из частей примерно равное (за год 90 783 и 89 555), то вклад облаков в изменение температуры за счет северной части более значителен, чем за счет южной части полушария.

Аналогичное соотношение между коэффициентами корреляции облаков и температуры справедливо и для сезонных значений. Особенно велико различие в значениях r зимой: 0,79 на севере и только –0,07 на юге полушария (на суше 0,64 и –0,17, на океане 0,86 и –0,32). Близкие значения r отмечаются весной: 0,71 на севере и –0,34 на юге полушария; в Азии 0,54 и –0,40; в Северной Америке 0,69 и 0,09; в Атлантическом океане 0,60 и –0,30; в Тихом 0,57 и –0,38 соответственно.

Распределение числа случаев с различными значениями сезонных коэффициентов корреляции по данным табл. 1–3 приведено в табл. 4.

Наиболее существенная особенность распределения сезонных r – зависимость их от географической широты. Во всех частях света, на океанах и на полушарии на севере преобладает положительная ($r > 0$), на юге – отрицательная ($r < 0$) связь между n и T . В общей сложности на севере частей света, всех океанов и полушария на положительные связи ($r > 0$) приходится 23, на отрицательные ($r < 0$) – 6 значений.

Распределение числа случаев с различными значениями сезонных коэффициентов корреляции между n и T

	$r < 0$				$r > 0$			
	$< -0,50$	$-0,50 \dots -0,20$	$-0,20 \dots -0,10$	$-0,10 \dots 0,0$	$0,00 \dots 0,10$	$0,10 \dots 0,20$	$0,20 \dots 0,50$	$> 0,50$
Части света								
Север		3					4	5
Юг		8	1			2	1	
Части света в целом	1	7	1	2	5	1	3	
Океаны								
Север		1			1	1	1	4
Юг		6	2					
Океаны в целом		7	1	1	1	2		4
Полушарие								
Север	суша			1			1	2
	вода						1	3
	в целом			1				3
Юг	суша	2	1	1				
	вода	3	1					
	в целом	2	1	1				
Полушарие	суша	1	1		1	1		
	вода			1		1	2	
	в целом	1			1	1	2	
Общее число случаев	1	41	9	8	9	8	15	21
Проценты	0,9	36,6	8,0	7,1	8,0	7,1	13,5	18,8

При этом все отрицательные r на севере наблюдаются только летом (при положительном радиационном и тепловом балансах), в другие сезоны года (зима, весна, осень) все значения $r > 0$. Среди положительных r преобладают значения, превышающие 0,20 (таких 24 значения из 26), а в 17 случаях (из тех же 26) – $r > 0,50$.

На юге частей света, океанов и полушария преобладают отрицательные значения r (таких 30 из 33), при этом в 28 случаях (из 30) $r < -0,10$, а в 22 (из тех же 30) $r < -0,20$.

Связи между n и T в абсолютном большинстве случаев статистически значимы и достаточно хорошо выражены. Только в двух случаях (из 32) на севере и в 2 случаях (из 31) на юге коэффициенты корреляции не превышают (по модулю) 0,10. Большинство значений r (24 из 26 на севере и 22 из 28 на юге) превышают (по модулю) 0,20. В целом связь между n и T на севере более тесная, чем на юге: в 17 случаях (из 24) наблюдаются значения r больше 0,50 на севере, на юге же такие связи ($r > 0,50$) отсутствуют.

Таким же закономерностям подчиняется распределение годовых коэффициентов корреляции. Согласно данным табл. 5, на севере трех частей света, двух океанов, суши и воды, а также Северного Ледовитого океана в целом и севера полушария (суши и воды в целом) отмечаются только положительные корреляционные связи между n и T . При этом все эти связи не только статистически значимы, но и достаточно тесные: 9 (из 10) значений $r > 0,20$, а 5 (из тех же 10) – больше 0,50. Исключение составляет Европа, практически полностью расположенная в северной части полушария: здесь три сезонных и годовой коэффициенты корреляции – отрицательные.

Таблица 5

**Распределение годовых коэффициентов корреляции между n и T
(в совокупности – для всех частей света, океанов, суши и воды, полушария)**

	-0,50...-0,20	-0,20...-0,10	-0,10...0,0	0,00...0,10	0,10...0,20	0,20...0,50	>0,50
Север		1				4	5
Юг	3	3	1	2	1		

На юге трех частей света, двух океанов, суши и воды, а также в Африке и Индийском океане, на юге полушария (суша плюс вода), согласно табл. 5, преобладают отрицательные годовые значения коэффициентов корреляции – их 7 из 10. Хотя отрицательных значений r на юге несколько меньше, чем положительных на севере, однако, после исключения статистически незначимых r (по модулю меньше 0,10) окажется, что и на юге все, кроме одного, значения r – отрицательные.

Сформулируем, в заключение, некоторые выводы:

1) Определяющее влияние на поля приземной температуры воздуха оказывают облака. Об этом свидетельствуют тесные статистические связи температуры с количеством облаков: коэффициенты корреляции между ними, как правило, заключены в интервале 0,20–0,50 (отрицательные – по модулю), а в 20% случаев они превышают 0,50. Столь же существенна связь приземных температур воздуха и давления (концентрации) водяного пара [Матвеев Л.Т., 2000, Матвеев Л.Т., 2005]. Сравнение статистических связей температуры воздуха с концентрацией углекислого газа, а также других парниковых газов, показывает, что облака и водяной пар оказывают на изменение температуры влияние, на один-два порядка (в 10–100 раз) превосходящее вклад двуокиси и окиси углерода, не говоря уже о других парниковых газах. По данным работ [Кондратьев, 1999; Кондратьев, 2005] коэффициенты корреляции между температурой воздуха и концентрацией углекислого газа, а также любого из семи других парниковых газов, не превышают (по модулю) 0,10. Примерно половина их не удовлетворяет критерию статистической значимости.

2) Установленные в работе корреляционные связи между T и n согласуются с теорией и опытными данными влияния облаков на радиационный и тепловой балансы земной поверхности. В согласии с зависимостью этих балансов от времени года и географической широты, коэффициенты корреляции между T и

n положительны и достаточно велики в северных частях (90–42,5° с.ш.) материков, океанов и полушария в течение трех сезонов (зима, весна, осень), года и в среднем за год.

3) Летом, когда радиационный и тепловой балансы положительны, в северных частях корреляционные связи между T и n – отрицательные (исключения составляют Северный Ледовитый океан и север Мирового океана, где и летом балансы меньше нуля). В южных частях (42,5–0° с.ш.) материков, океанов и полушария, где во всех сезонах балансы положительны, преобладают отрицательные корреляционные связи между T и n .

Литература

1. Григорьев А.А., Кондратьев К.Я. Экодинамика и геополитика. Т. II. Экологические катастрофы. – СПб., 2001. – 687 с.
2. Кондратьев К.Я. Экодинамика и геополитика. Т. I. Глобальные проблемы. – СПб.: Виктория, 1999. – 1040 с.
3. Климатические изменения: взгляд из России / Под ред. В.И. Данилова-Данильянца. – М., 2003. – 410 с.
4. Кондратьев К.Я., Матвеев Л.Т. Основные факторы формирования острова тепла в большом городе // Доклады РАН, 1999, т. 367, № 2, с. 253–256.
5. Кондратьев К.Я., Матвеев Ю.Л. О роли основных процессов в формировании и колебаниях климата Земли // Доклады РАН, 2005, т. 401, № 3, с. 399–402.
6. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 2000. – 700 с.
7. Матвеев Л.Т., Матвеев Ю.Л. Облака и вихри – основа колебаний погоды и климата. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005. – 326 с.