

А.А. Исаев, Н.В. Зукерт

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ МЕСЯЧНЫХ СУММ ОСАДКОВ И ЧИСЛА ДНЕЙ С ОСАДКАМИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ПО ДАННЫМ ИСЗ «МЕТЕОР»

Выполнена проверка предложенной ранее модели для условий зимних месяцев в квадратах 5×10 градусов в центре ЕТ РФ. Расчетное значение количества R_p и числа дней с осадками D_p определяется линейным уравнением связи $R_p = f(K)$, $D_p = f(\omega_1)$, где K и ω_1 – соответственно индексы упомянутых характеристик R_p , D_p , вычисляемые на основе эмпирических соотношений о повторяемости количества и форм спутниковой облачности с весовыми коэффициентами выпадающих осадков. В силу достаточно хорошей связи $r = 0,7-0,9$ между фактическими и расчетными величинами можно говорить о перспективности исследований в этом направлении.

Вопросы интерпретации результатов спутниковых наблюдений для косвенной оценки полей гидрометеорологических элементов продолжают оставаться актуальной проблемой спутниковой климатологии. В связи с этим авторами [1–5] разработана совокупность методов для восстановления наиболее важных характеристик осадков на основе спутниковых наблюдений за облачностью (табл. 1, левая часть) над территорией европейской части России.

Т а б л и ц а 1

Характеристики облачности по данным наблюдений с ИСЗ «Метеор»
(квадрат 0636, условный центр – Орел; декабрь, 1973)

Число	Исходная информация			Результаты обработки	
	Сроки, ч	Форма облачности*	Количество облачности, балл	Преобладающая форма облачности*	Количество преобладающей облачности, балл
1	03	1	06	1	06
2	16	4	06	4	06
3	02	–	00	0	00
4	15	2	08	2	08
5	15	2	10	2	10
6	02/15	1/–	07/00	1	07
7	02/15	2/1	06/05	2	06
8	02/15	1/–	07/–	1	07
9	02	1	04	1	04
10	02	1	08	1	08
11	15	1	06	1	06
12	02	1	04	1	04
15	15	1	04	1	04
18	15	1	07	1	07
20	14	1	07	1	07
21	01/10	1/2	05/09	2	09
22	08/23	1/1	07/07	1	07
23	14/21	1/1	03/04	1	04
24	23	1	07	1	07
25	14	1	03	1	03
26	12/23	1/1	07/10	1	10
27	21	2	07	2	07
28	14/21	1/1	03/04	1	04
29	21	1	07	1	07
30	14/21	2/2	06/07	2	07
31	14	2	10	2	10

* Шифры формы облачности – 1–Cu, 2–St, 3–Sc, 4–Cb (более детально принципы обработки даны в [2]).

Реализация этих методов обычно выполнялась для оценки месячных характеристик осадков летнего или осеннего периодов.

Цель настоящей работы – исследовать возможности применения методологии [1, 4, 5] восстановления осадков осеннего периода для условий зимних месяцев. Предположения о возможности ее применения к зимнему периоду объясняются квазиоднородностью повторяемости сходных форм облачности и выпадающих из них осадков независимо от календарного периода. Существо эмпирической модели базируется на общеизвестной функциональной зависимости фактического количества осадков R_f от интенсивности J и их продолжительности τ за определенный период D :

$$R_f = \sum_1^D J \tau. \quad (1)$$

Поскольку измерения J и τ со спутников не производятся, то задача сводилась к подбору косвенного аналога суммарных осадков – индекса осадков K , статистически связанного с фактическими осадками R_f эмпирическим соотношением

$$R_f = f(K) = f(\omega \Sigma Q / \Sigma D) \tau, \quad (2)$$

в котором $\omega \Sigma Q / \Sigma D$ – среднее суточное количество облачности за период ΣD , определяющее потенциальную суточную интенсивность осадков с учетом облачного индекса осадкообразования ω , τ – индекс продолжительности потенциально «дождливых ситуаций» (как будет показано ниже), статистически связанный с числом дней с осадками более 1 мм. Как известно, осадки более 1 мм формируют основную долю в суммарных величинах за определенные периоды наблюдений ΣD (декада, сезон, год).

Облачный индекс осадкообразования ω является безразмерным параметром и определяется непосредственно из наблюдений за облачностью со спутников на площади трапеции (условно квадрата) $5 \cdot 10^\circ$ в виде соотношения

$$\omega = \frac{(0,3D_{3-6} + 0,6D_{7-8} + 0,8D_{9-10} + 0,9D_{7-10}^* + D_{9-10}^*)Cu, Cb + 0,7D_{7-10}^* Cu, Cb-St, Sc +}{(0,7D_{3-6} + 0,4D_{7-8} + 0,2D_{9-10} + 0,1D_{7-10}^* + 0,5D_{0-2})Cu, Cb + 0,3D_{7-10}^* Cu, Cb-St, Sc +} \\ + \frac{(0,2D_{7-10}^* + 0,5D_{9-10}^*)St, Sc}{(0,8D_{7-10}^* + 0,5D_{9-10}^* + D_{\leq 6})St, Sc} \quad (3)$$

где D – число дней с минимальной суточной общей облачностью в градациях 0–2, 3–6, ..., 9–1 баллов при преобладающих за сутки формах облаков: кучевообразных Cu, мощных кучевообразных Cb, слоистообразных St, слоисто-кучевообразных Sc или их сочетаний Cu–Cb; St–Sc; Cu, Cb–St, Sc; D^* – число ситуаций при отдельных формах облачности или их сочетаниях, непрерывно наблюдающихся (2–3 срока в отдельные и смежные сутки).

Константы 0,3–0,9 в формуле (3) получены эмпирическим путем на основе сопряженного анализа суточного количества облаков и выпадающих суточных осадков R при формах облачности Cu, Cb, St, Sc отдельно для ситуаций с $R > 1,0$ мм и $R \leq 1,0$ мм, включая ситуации отсутствия осадков.

В количественном плане, таким образом, ω косвенно характеризует соотношение продолжительности потенциально дождливых периодов и бездождья за время наблюдения ΣD .

Оценки вероятностей при D (Cu, Cb–St, Sc и т.д.) для условий зимнего периода представлены в табл. 2.

Из табл. 2 четко проявляется тождественность вероятности выпадения осадков из одинаковых форм для одних и тех же градаций облачности независимо от сезона года, что, по существу, предопределяет правомерность применения методик, разработанных в [1–5].

Проверка эмпирической модели (2) выполнялась по срочным наблюдениям за облачностью с ИСЗ «Метеор» для площадей размером $5 \times 10^\circ$ с условными центрами в г. Валдай (квадрат 0679) и г. Орел (квадрат 0636) в период 1970–1977 гг. Месячные суммы осадков на площади квадратов определялись суммированием суточных значений, усредненных по 10–12 равномерно расположенным станциям на площади квадрата. Впоследствии в целях поиска наилучших связей $R_f = f(K)$ погодичные площадные значения осадков нормировались на их средние многолетние значения в границах площади квадрата.

Вероятности выпадения осадков в зависимости от сочетаний форм и количества облачности по наблюдениям с ИСЗ «Метеор» в условиях европейской территории России

Месяцы	Cu-Cb						St-Sc			Cu, Cb-St, Sc
	D_{0-2}	D_{3-6}	D_{7-8}	D_{9-10}	D_{7-10}^*	D_{9-10}^*	$D_{\leq 6}$	D_{7-10}	D_{9-10}^*	D_{7-10}^*
Октябрь	0	0,3	0,6	0,8	0,9	1,0	0,2	0,2	0,5	0,7
Декабрь- февраль	0	0,3	0,7	0,8	0,7	0,8	0	0,2	0,5	0,7

Пример обработки информации об облачности для оценки индексов осадков последовательно за месяц одного года приводится в правой части табл. 1, пример расчета облачного индекса осадкообразования по соотношению (3) представлен в табл. 3. Безразмерный индекс осадков, рассчитанный на основе данных табл. 1, 3 по соотношениям (2), (3), в частности, для декабря 1973 г., равняется 1,72 (табл. 4, б, 1973 г.).

Таблица 3

Повторяемость (дни) различных облачных ситуаций, формирующих индекс осадков K по соотношениям (2), (3) (квадрат 0636, Орел, декабрь 1973 г.)

Cu-Cb						St-Sc			Cu, Cb-St, Sc	ΣQ	ΣD
D_{0-2}	D_{3-6}	D_{7-8}	D_{9-10}	D_{7-10}^*	D_{9-10}^*	$D_{\leq 6}$	D_{7-10}	D_{9-10}^*	D_{7-10}^*		
1	9	6	0	3	0	1	4	4	1	165	26

Индексы осадков всего периода наблюдений (табл. 4, б, строки K и R_c) сравнительно хорошо отражают динамику межгодовой изменчивости осадков R_f в отдельные месяцы. Коэффициент корреляции $r_{R_f/K}$ оказался достаточно высоким и значимым при взятых объемах выборки: соответственно для квадрата 0679 он равен 0,85, а для квадрата 0636 – 0,70.

Таблица 4

Индексы осадков (K), фактические R_f и расчетные R_c месячные суммы осадков в районах Валдая и Орла

Характеристики	Декабрь			Январь				Февраль			
	1973	1974	1975	1970	1971	1972	1977	1973	1975	1976	1977
а) квадрат 0679 (Валдай)											
K , усл. ед.	1,30	1,98	1,49	0,20	–	–	1,21	2,15	0,98	0,45	1,84
R_f , мм	47	56	57	8	–	–	29	47	31	14	53
R_c , мм	38	55	43	11	–	–	36	59	30	17	52
Δ , мм	9	1	14	–3	–	–	–7	–12	1	–3	1
б) квадрат 0636 (Орел)											
K , усл. ед.	1,72	2,13	1,29	1,27	2,09	0,35	1,62	2,17	0,77	0,76	1,99
R_f , мм	44	50	40	52	37	4	37	46	21	2	53
R_c , мм	38	40	52	30	45	12	36	46	20	12	43
Δ , мм	6	10	14	–12	22	8	–8	1	0	–10	10

Рабочие уравнения регрессии для оценки слоя осадков R_c имеют вид для оценки абсолютных значений средних по площади осадков:

для квадрата 0679 (Валдай)

$$R_{c_s}, \text{ мм} = 24,90 K + 5,9, \quad (4)$$

для квадрата 0636 (Орел)

$$R_{c_s}, \text{ мм} = 18,73 K + 5,6; \quad (5)$$

для оценки средних по площади нормированных осадков:

для квадрата 0679 (Валдай)

$$R_{c_s}, \text{ мм} = 0,83 K + 0,15, \quad (6)$$

для квадрата 0636 (Орел)

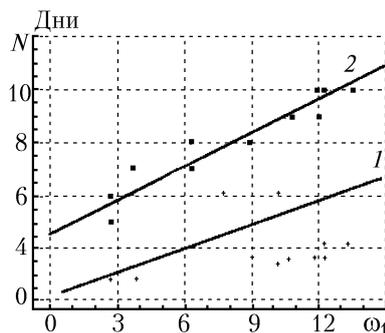
$$R_{c_s}, \text{ мм} = 0,68 K - 0,03. \quad (7)$$

Индексы осадков (K), нормированные фактические R_f и расчетные R_c месячные суммы осадков в районах Валдая и Орла

Характеристики	Декабрь			Январь				Февраль			
	1973	1974	1975	1970	1971	1972	1977	1973	1975	1976	1977
	а) квадрат 0679 (Валдай)										
K , усл. ед.	1,30	1,98	1,49	0,20	–	–	1,21	2,15	0,98	0,45	1,84
R_f , мм	130	187	149	30	–	–	132	160	97	47	174
R_c , мм	123	175	139	32	–	–	115	193	96	52	168
Δ , мм	7	8	10	–2	–	–	17	–33	1	5	6
	б) квадрат 0636 (Орел)										
K , усл. ед.	1,72	2,13	1,29	1,27	2,09	0,35	1,62	2,17	0,77	0,76	1,99
R_f , мм	118	115	111	96	115	7	116	137	62	16	140
R_c , мм	114	142	85	83	139	21	107	144	45	28	132
Δ , мм	4	–27	26	13	–24	–14	9	–7	17	–12	8

Сравнительный анализ ретроспективных оценок фактических R_f и расчетных R_c осадков за 1973–1977 гг. для абсолютных и нормированных на средние многолетние значения суммы осадков приводится соответственно в табл. 4 и 5.

При интерпретации результатов сравнения мы исходим из существующей точности измерения зимних осадков, которая составляет примерно 30% или ± 10 мм от месячной суммы. Как следует из табл. 4 и 5, различия абсолютных значений в большинстве случаев находятся в пределах ± 10 мм, относительных – в пределах менее 30%. Из сравнения табл. 4 и 5 следует, что нормированные значения осадков восстанавливаются несколько лучше, чем их абсолютные величины, поскольку во всех случаях они не превышают пределов допустимой точности $\pm 30\%$.



Связь параметра ω_1 с числом дней с осадками N : 1 – число дней с осадками более 1 мм; 2 – число дней с осадками более 0,1 мм

Кроме количества осадков, важной характеристикой увлажнения является число дней с осадками. В процессе исследования была предпринята попытка обнаружить связь между числителем соотношения (3), который условно обозначим ω_1 (будем называть его индексом числа дней с осадками $> 0,1$ мм), и фактическим числом дней с осадками > 1 мм (N). На рисунке (прямая 1) отмечается довольно существенный разброс точек корреляционного поля. Однако все же заметна тенденция к линейной зависимости. Существенный разброс точек может быть объяснен тем, что доля числа дней с осадками более 1 мм по сравнению с общим числом дней с осадками $> 0,1$ мм зимой невелика. Поэтому была определена связь ω_1 с числом дней с осадками более 0,1 мм (рисунок, прямая 2). Коэффициент корреляции для этой связи для квадрата 0636 оказался равным 0,90, а уравнение регрессии имеет вид

$$N_c = 0,43 \omega_1 + 4,5. \quad (8)$$

В табл. 6 приведены расчетные величины N_c по соотношению (8). Сравнение их с наблюдаемыми данными показывает хорошее согласие: в 64% случаев оно не превышает одного дня, в 82% – двух дней.

Индексы числа дней с осадками более 0,1 мм ω_1 , фактическое N_f и расчетное N_c число дней с осадками более 0,1 мм (квадрат 0636, Орел, 1970–1977 гг.)

Характеристики	Декабрь				Январь			Февраль			
	1972	1973	1974	1975	1970	1972	1977	1973	1975	1976	1977
ω_1 , усл.ед.	12,0	10,8	12,2	8,1	6,3	3,7	8,9	13,5	3,7	2,7	10,5
N_f , мм	9	12	10	10	8	4	8	13	7	5	9
N_c , мм	10	9	10	8	7	6	8	10	6	6	9
Δ , мм	-1	3	0	2	1	-2	0	3	1	-1	0

Таким образом, полученная достаточно хорошая сходимость расчетных сумм осадков и числа дней с осадками с фактическими данными позволяет говорить о том, что для косвенных расчетов осадков в зимний период в условиях европейской территории России по данным об облачности с ИСЗ «Метеор» возможно использование эмпирических соотношений (2), (3), предложенных ранее для летнеосеннего периода.

В перспективе целесообразно проверить полученные выводы на более обширном и независимом материале.

- Исаев А. А. Методика восстановления характеристик осадков на площади по данным ИСЗ «Метеор» на примере октября // Труды ВНИИГМИ-МПД. Вып. 108. 1983. С. 56–57.
- Зукерт Н. В., Исаев А. А. Оценка осадков на площади с помощью космических снимков облачности с ИСЗ «Метеор» в условиях Нечерноземья // Вестник МГУ. Сер. География. N 5. 1983. С. 82–88.
- Исаев А. А., Шемякин В. Е. Оценка возможностей расчета суточных сумм осадков на площади по наземным и спутниковым данным // Труды ВНИИГМИ-МПД. Вып. 118. 1985. С. 98–107.
- Исаев А. А., Зукерт Н. В., Насонова О. Н. Оценка осадков по данным ИСЗ «Метеор» над Атлантическим океаном. Глобальный комплексный мониторинг Мирового океана // Труды 1 Международного симпозиума. Таллинн. Т. 3. 1986. С. 304–311.
- Исаев А. А., Лещова Г. С. Методика оценки числа дней с осадками больше или равными 1 мм по данным ИСЗ «Метеор» в западной половине СССР на примере октября // Труды ВНИИГМИ-МПД. Вып. 140. 1987. С. 85–93.

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию
4 декабря 1995 г.

A. A. Isayev, N. V. Zukert. Empirical Model for Estimation of Precipitation Monthly Sums and Quantity of Precipitation Days in Winter by Data from «Meteor» Satellite.

The model of precipitation proposed earlier was tested under winter conditions in quadrates of 5-10 grades in the center of European territory of Russia. Computed magnitudes R_p (precipitation) and D_p (quantity of precipitation days) are described by linear correlations equations $R_p = f(K)$, $D_p = f(\omega_1)$. K and ω_1 are the indices of the abovementioned characteristics R_p and D_p computed by means of empiric relations between repetition and forms of clouds and the precipitation coefficients. Good enough correlation $r = 0,7-0,9$ between computed and measured data makes the investigation of the problem promising.