

В.С. Комаров, А.В. Креминский, Н.Я. Ломакина, В.И. Воробьев

## ОБ ОЦЕНКЕ ТРЕБУЕМОГО КОЛИЧЕСТВА ПРОЛЕТОВ ИСЗ ДЛЯ УСПЕШНОГО ОБЗОРА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗ КОСМОСА ПРИ ЕЕ ЗАКРЫТИИ ОБЛАЧНОСТЬЮ В МОМЕНТ ПЕРВОГО ПРОЛЕТА

Приводятся методика и результаты статистического оценивания числа пролетов ИСЗ, обеспечивающего 90-процентную вероятность успешного обзора земной поверхности из космоса при количестве общей облачности в момент первого пролета  $\leq 3$ ; 4–7 и 8–10 баллов.

Широкое использование спутниковых измерительных систем оптического диапазона для глобального слежения за физическим состоянием окружающей среды и обнаружения наземных объектов из космоса, а также начавшееся в последние годы дистанционное зондирование подстилающей поверхности с помощью орбитальных лидаров, установленных на борту космической станции «Мир» и на корабле многоразового использования «Шаттл» [1–4], показали, что их эффективное применение в интересах различных народнохозяйственных и оборонных отраслей невозможно без учета экранирующего влияния облачного покрова. Это связано с тем, что работа оптических систем бортового базирования в значительной степени зависит от облачности, поскольку ее наличие на линии визирования измерительной аппаратуры может усложнить или полностью исключить саму возможность получения какой-либо информации о состоянии подстилающей поверхности и затруднить обнаружение наземных объектов из космоса. К этому следует добавить и то, что облачность согласно [5] может занимать в любой момент времени около половины земной поверхности.

В связи с таким положением возникает важная для практики проблема, связанная с оценкой требуемого количества пролетов ИСЗ над рассматриваемой территорией, обеспечивающего заданную вероятность успешного обзора земной поверхности из космоса, если при первом пролете спутника над этой территорией отмечалась сплошная и сплошная с просветами облачность.

В настоящей статье и дается попытка статистического решения указанной проблемы. Рассмотрим вначале методические аспекты ее возможной реализации.

Известно, что вероятностная оценка состояния земной поверхности или наземных объектов из космоса, проводимая с учетом экранирующего влияния облачного покрова, основывается на учете статистических закономерностей изменения среднего количества общей облачности во времени. При этом считается, что общая облачность в пределах квадрата площадью  $555 \times 555 \text{ км}^2$ , по которому она определяется, распределена равномерно, а данные, получен-

ные в смежные (через сутки) сроки, являются некоррелированными. Действительно, при предположении равномерности распределения облачности вероятность  $P$  оценки состояния земной поверхности в каком-либо небольшом районе квадрата равна

$$P = 1 - N, \quad (1)$$

где  $N$  – среднее над квадратом количество общей облачности, выраженное в долях единицы.

Если же учесть также и предположение о независимости смежных (через сутки) наблюдений за облачностью, то можно рассчитать вероятность диагноза состояния земной поверхности при  $k$  пролетах ИСЗ над данным районом с суточным интервалом по формуле вида

$$P = 1 - \prod_{i=1}^k N_i, \quad (2)$$

где  $N_i$  – среднее количество общей облачности в  $i$ -й день. В формуле (2) оператор  $\prod$  обозначает операции произведения.

Формула (2) позволяет рассчитать вероятность  $P$  в каждом конкретном случае. Для учета статистической структуры временной изменчивости среднего количества общей облачности от суток к суткам следует результаты, полученные по формуле (2), усреднить для всей исходной выборки.

В результате такого усреднения приходим к формуле, применяемой для расчета вероятности  $P$  диагноза состояния земной поверхности при  $k$  пролетах ИСЗ с суточным интервалом. Эта формула имеет следующий вид:

$$P = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \prod_{i=1}^k N_{ij}. \quad (3)$$

Здесь  $k$  – количество пролетов ИСЗ над квадратом с интервалом в одни сутки;  $n$  – количество интервалов по  $k$  наблюдениям в выборке ежедневных значений среднего количества общей облачности с интервалом в одни сутки.

Учитывая формулу (3), можно рассчитать по архивным данным и с любым упреждением значения вероятностей успешного обзора земной поверхности из космоса ( $P$ ) при различном количестве пролетов ИСЗ над рассматриваемым районом. А это имеет важное практическое значение для оперативного планирования летно-космических испытаний. Правда, на практике обычно используют не вероятности при фиксированном количестве пролетов ИСЗ, а число пролетов  $k$ , обеспечивающее успешный обзор земной поверхности из космоса с заданной вероятностью (например, 90%) как это принято в инженерных расчетах). Такой подход существенно уменьшает объем табличного материала, а главное, более удобен для практического использования.

По этому пути пошли и авторы настоящей статьи, вычислив по архивным данным количество пролетов ИСЗ, обеспечивающее заданную вероятность ( $P > 90\%$ ) успешного обзора земной поверхности из космоса при исходном количестве общей облачности (в момент первого пролета ИСЗ), составляющем  $\leq 3$ ; 4–7 и 8–10 баллов.

Остановимся теперь коротко на результатах подобной вероятностной оценки.

С этой целью нами были использованы массивы спутниковых ежедневных данных о среднем суточном количестве общей облачности над Северным полушарием, полученные за период 1971–1980 гг. и усредненные по отдельным квадратам площадью  $555 \times 555 \text{ км}^2$  и с центром в узлах географической сетки с шагом  $5^\circ$  по широте и  $10^\circ$  по долготе.

Сама же оценка требуемого количества пролетов ИСЗ, обеспечивающего успешный обзор земной поверхности из космоса с вероятностью  $P = 90\%$ , осуществлялась для отдельных физико-географических районов Северного полушария.

В табл. 1 и 2 приводятся, в качестве примера, результаты такой оценки, проведенной для двух типичных районов, а именно:

- района I ( $30\text{--}60^\circ\text{с.ш.}$ ,  $30^\circ\text{з.д.}$ – $20^\circ\text{в.д.}$ ), относящегося к океаническому району и охватывающего значительную часть акватории Северной Атлантики;
- района II ( $30\text{--}60^\circ\text{с.ш.}$ ,  $80\text{--}130^\circ\text{в.д.}$ ), относящегося к континентальным районам и охватывающего значительную часть территории Азиатского континента.

Таблица 1

**Количество пролетов ИСЗ с суточным интервалом над регионом I, обеспечивающее успешный обзор земной поверхности из космоса с вероятностью  $P \geq 90\%$  при различном количестве общей облачности в момент первого пролета**

λ, град.	Количество облачности при первом пролете ИСЗ, баллы																	
	≤ 3						4–7						8–10					
φ, град.	–30	–20	–10	0	10	20	–30	–20	–10	0	10	20	–30	–20	–10	0	10	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Январь																		
60	4	4	2	2	2	2	8	9	9	9	6	5	11	11	11	10	7	7
55	3	4	2	3	3	2	8	8	8	7	7	6	11	11	10	9	9	8
50	2	3	3	2	2	2	8	7	7	7	6	6	11	11	9	9	8	8
45	2	3	2	2	2	2	7	7	6	5	5	5	10	10	8	7	7	7
40	2	2	2	2	2	2	7	7	5	4	4	5	9	8	7	6	6	7
35	3	2	2	2	2	2	7	6	4	3	4	4	8	8	5	5	5	5
30	2	2	2	2	2	2	6	5	3	3	3	3	7	6	4	3	3	4
Апрель																		
60	3	2	2	2	2	2	7	8	7	6	5	5	9	11	11	8	7	6
55	2	2	2	2	2	2	9	8	7	6	5	6	11	11	10	8	7	7
50	2	2	2	2	2	2	8	8	6	6	6	6	11	11	7	7	8	8
45	2	2	2	2	2	2	8	7	6	5	5	6	11	10	7	6	7	7
40	2	2	2	2	2	2	8	5	4	4	4	4	11	9	7	5	5	5
35	2	2	2	2	2	2	6	5	4	3	3	3	9	7	5	4	4	4
30	2	2	2	2	2	2	5	5	3	3	3	3	8	6	4	4	3	3
Июль																		
60	2	2	2	2	2	2	6	8	7	7	5	5	8	9	9	9	8	8
55	2	2	2	2	2	2	8	8	7	6	5	5	9	9	9	9	8	7
50	2	2	2	2	2	2	8	8	6	5	5	5	9	9	8	8	8	7
45	2	2	2	2	2	2	6	6	5	4	3	4	8	8	6	6	4	5
40	2	2	2	2	2	2	5	5	3	3	2	3	8	8	5	5	3	4
35	2	2	2	2	2	2	5	5	3	3	2	2	7	7	5	3	2	3
30	2	2	2	2	2	2	5	4	3	2	2	2	7	6	4	3	2	2
Октябрь																		
60	2	2	2	2	2	2	8	8	7	6	5	5	9	12	10	8	7	7
55	2	2	2	2	2	2	8	8	7	6	5	5	10	12	10	8	7	7
50	2	2	2	2	2	2	8	8	7	6	5	5	11	10	9	7	7	7
45	2	2	2	2	2	2	7	6	6	4	4	4	9	9	7	6	6	5
40	2	2	2	2	2	2	6	5	4	4	4	4	7	7	6	5	5	5
35	2	2	2	2	2	2	5	5	4	3	3	3	7	6	4	4	3	4
30	2	2	2	2	2	2	4	4	3	3	3	3	6	5	4	4	3	3

Примечание. Знаком минус обозначена западная долгота.

Количество пролетов ИСЗ с суточным интервалом над регионом II, обеспечивающее успешный обзор земной поверхности из космоса с вероятностью  $P \geq 90\%$  при различном количестве общей облачности в момент первого пролета

λ, град.	Количество облачности при первом пролете ИСЗ, баллы																	
	≤ 3						4–7						8–10					
φ, град.	80	90	100	110	120	130	80	90	100	110	120	130	80	90	100	110	120	130
Январь																		
60	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	5	4
55	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	6	6	4	5	4	3
50	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	6	5	5	4	4	4
45	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	3	6	6	3	4	5	3
40	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4
35	2	2	2	2	2	2	4	3	3	3	3	5	5	5	5	6	5	4
30	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5	4	4	5	7	5	7
Апрель																		
60	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7	7
55	2	2	2	2	2	2	4	5	5	5	5	6	5	6	6	7	7	7
50	2	2	2	2	2	2	4	5	5	5	4	6	6	6	6	6	6	7
45	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	7	5	5	5	5	6
40	2	2	2	2	2	2	4	3	4	4	4	4	5	4	5	5	4	5
35	2	2	2	2	2	2	4	5	5	4	4	4	6	7	6	6	4	5
30	2	2	2	2	2	2	3	5	3	5	5	3	5	6	7	6	6	6
Июль																		
60	2	2	2	2	2	2	5	5	6	7	7	7	6	7	8	8	8	8
55	2	2	2	2	2	2	5	5	5	7	7	7	6	6	7	8	8	8
50	2	2	2	2	2	2	4	5	6	5	5	7	5	6	7	7	7	7
45	2	2	2	2	2	2	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	7
40	2	2	2	2	2	2	4	4	4	5	4	6	5	4	4	6	6	5
35	2	2	2	2	2	2	4	4	5	5	4	6	5	5	6	5	5	6
30	2	2	2	2	2	2	4	5	6	5	4	7	4	7	7	6	7	7
Октябрь																		
60	2	2	2	2	2	2	5	5	5	4	4	4	8	8	7	5	5	5
55	2	2	2	2	2	2	5	5	4	4	4	4	7	8	6	5	5	5
50	2	2	2	2	2	2	4	5	4	4	4	4	5	6	6	5	5	5
45	2	2	2	2	2	2	4	3	3	3	3	4	5	4	4	5	5	5
40	2	2	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
35	2	2	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	6	6	5	5
30	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	3	5	5	6	3	6

Анализ данных табл. 1 и 2 показывает, что существует большая зависимость требуемого числа пролетов ИСЗ от количества общей облачности в момент первого наблюдения за выбранным участком земной поверхности.

Так, например, наименьшее количество пролетов ИСЗ (в основном, порядка двух) необходимо при небольшом исходном количестве общей облачности ≤ 3 баллов, причем оно практически не зависит от района и взятого месяца. Лишь в январе над северо-западной частью района I это количество больше и составляет 3–4 пролета. В то же время при значительной облачности (8–10 баллов) требуется большее количество пролетов ИСЗ существенно возрастает. При этом максимальное количество таких пролетов может достигать 10–12, что имеет место в январе, апреле и октябре над районом I.

Следует также подчеркнуть, что при умеренной (4–7 баллов) и значительной (8–10 баллов) облачности характер изменения количества пролетов ИСЗ в пределах районов I и II заметно различен. Так, если в районе I, т.е. над океаном, число пролетов ИСЗ, обеспечивающее успешный обзор земной поверхности из космоса, заметно возрастает от

юго-востока к северо-западу (от 2–4 до 7–9 пролетов при исходном количестве общей облачности 4–7 баллов и от 2–4 до 9–12 пролетов при ее количестве 8–10 баллов), то в континентальном районе II такой закономерности не отмечается. К тому же для успешного обзора территории этого района требуется заметно меньшее число пролетов ИСЗ (в основном оно равно 3–5 при исходном количестве общей облачности 4–7 баллов и 5–7 при ее количестве 8–10 баллов).

Таким образом, в период функционирования наблюдательной системы, когда постоянно поступает метеорологическая информация о состоянии облачного покрова, ожидаемое количество пролетов ИСЗ, обеспечивающее заданную вероятность обзора земной поверхности из космоса, может быть с успехом уточнено в зависимости от результатов наблюдений за облачностью при первом пролете. Из полученных результатов также следует, что в случае умеренной и значительной облачности для обзора рассматриваемой акватории Северной Атлантики из космоса требуется в основном существенно большее количество пролетов ИСЗ, чем в случае обзора взятого участка Азиатского конти-

нента. Подобную особенность следует учитывать при оперативном планировании летно-космических испытаний, в том числе и при использовании орбитальных лидаров.

1. Балин Ю.С., Знаменский И.В., Зуев В.Е., Мельников В.Е., Самойлова С.В., Тихомиров А.А. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 9. С. 1332–1343.

2. Winker D.M., Couch R.H., McCormick M.P. // Proc. IEEE. 1996. V. 84. P. 1–17.

3. Балин Ю.С., Тихомиров А.А., Самойлова С.В. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. N 3. С. 333–352.

4. Зуев В.Е., Балин Ю.С., Матвиенко Г.Г., Тихомиров А.А., Шаманаев В.С. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. N 4–5. С. 485–499.

5. Глобальное поле облачности / Под ред. Л.Т. Матвеева. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 279 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск  
Российский государственный гидрометеорологический институт, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию  
17 июля 1997 г.

*V.S. Komarov, A.V. Kreminskii, N. Ya. Lomakina, V.I. Vorob'ev.* **About Estimate of Required Quantity of Spacecraft Flies round the Earth for Successful Survey of Its Surface at Its Covering by Clouds during the First Fly-over.**

The method and results of statistical estimates of a spacecraft flies-over quantities are presented which provide 90% probability of successful survey of the Earth surface from the space when the cloud amount during the first fly-over is 3; 4–7, or 10.