

А.А. Власов, В.И. Воробьев

**НОМОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТНЫХ ОЦЕНОК
ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
СПУТНИКОВЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ
В ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЕ**

A.A. Vlasov, V.I. Vorobjov

**NOMOGRAPHIC CHARTS FOR ESTIMATION
OF EARTH SURFACE MONITORING PROBABILITY
BY OPTICAL SATELLITE SYSTEMS**

В работе описан метод, позволяющий получить оценки необходимого количества пролётов спутника над интересующим объектом для заданной вероятности успешного мониторинга интересующего объекта при известном общем количестве облачности. Для практического применения на основе метода построены номограммы.

Ключевые слова: ИСЗ, оптические системы, успешность землеобзора, влияние облачности.

The method for estimation of number of satellite passes required for successful monitoring of a target with given probability and given cloudiness is presented. A set of nomographic charts based on the method is created for practical applications.

Key words: Artificial Earth satellites, optical systems, Earth surveying efficiency, influence of cloudiness.

Номографией называется область математики, в которой рассматривается теория построения номограмм – особых чертежей, служащих для решения различных уравнений. Номография, таким образом, имеет своей задачей построение чертежей, эквивалентных выбранным формулам [Глаголев, 1961]. Пользование этими чертежами для получения конечного результата не требует никаких дополнительных построений или расчетов. Искомая величина отыскивается непосредственно на самой номограмме. Поэтому номограмма является готовым инструментом для расчета по данной формуле.

Номограммы широко используются в метеорологии, в частности при прогнозировании погоды. Примером могут служить, так называемые аэрологические диаграммы [Успенский, 1969]. С их помощью по результатам температурно-ветрового зондирования атмосферы можно, не прибегая к расчетам, получить значения эквивалентной, потенциальной (псевдопотенциальной), виртуальной температуры воздуха, высоты границ конвективно-неустойчивого слоя и еще ряд характеристик состояния атмосферы. С помощью номограмм определяются максимальная скорость конвективных вертикальных движений при прогнозе града, скорость геострофического ветра (градиентные линейки) и т.п.

Поскольку наблюдения с ИСЗ за объектами, находящимися на поверхности Земли, ведутся регулярно, в том числе и в оптическом диапазоне длин волн, целесообразно номографировать формулы, позволяющие, с учетом экранирующе-

го влияния облачности, рассчитать количество пролетов ИСЗ с суточным интервалом, обеспечивающее приемлемую для потребителя вероятность их инспектирования. При этом, обычно, целесообразно предварительно оценить возможности получения полезной информации от оптических систем спутникового наблюдения с требуемой периодичностью и вероятностью (P_k).

Решение задачи планирования производства наблюдений в том или ином районе впервые было предложено одним из авторов настоящей статьи [Воробьев, 1990] с использованием архива ежедневных спутниковых данных, снятых с карт нефанализа по формуле

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

где N_{ij} – количество общей облачности в i -й день; k – количество пролетов ИСЗ над исследуемым районом с интервалом в одни сутки; n – количество интервалов по k наблюдений в архивной выборке ежедневных значений количества общей облачности; j – количество ежедневных наблюдений за количеством общей облачности в архивной выборке.

По ней, используя данные архива ежедневных данных о количестве общей облачности, рассчитывается значение вероятности успешности обзора земной поверхности с помощью оптической аппаратуры при различном числе пролетов ИСЗ с суточным интервалом над интересующим потребителя районом. По результатам таких расчетов можно построить таблицы и карты территориального распределения вероятностей успешного обзора земной поверхности при одном, двух и т.д. пролетах ИСЗ с суточным интервалом. Затем выбрать вариант, обеспечивающий заданную вероятность инспектирования наземного объекта и соответствующее ему количество пролетов ИСЗ с суточным интервалом.

В качестве примера реализации такого подхода к оценке ожидаемых условий наблюдений за земной поверхностью в оптическом диапазоне в этой статье приведены карты количества пролетов ИСЗ с суточным интервалом, необходимых для априорной оценки состояния земной поверхности северного полушария в заданном районе с вероятностью 95 % в январе и июле. Подобные сведения позволяют оценить возможности использования оптических систем землеобзора в различных географических районах, в разные сезоны года, т.е., по существу, осуществлять перспективное планирование их применения.

Недостатком, ограничивающим практическое применение рассмотренного метода априорной оценки вероятности успешного обзора земной поверхности, с одной стороны, является многоступенчатость расчетов, т.е. поисковый подбор варианта, обеспечивающего заданную вероятность успешного обзора земной поверхности и его периодичность. С другой стороны, это необходимость формирования и обработки больших массивов ежедневных данных о среднем количестве общей облачности. В то же время в отечественной и зарубежной литературе приводятся результаты обработки таких архивов в виде многолетних (кли-

матических) характеристик общей облачности.

В работе [Воробьев, 2002] было показано, что без сколько-нибудь существенной потери точности расчеты вероятности успешного обзора земной поверхности при планировании, так же как и количество пролетов ИСЗ с суточным интервалом, обеспечивающее эту вероятность, можно выполнять по формуле

$$P_k = 1 - N_{\text{ср}}^k, \quad (2)$$

где $N_{\text{ср}}$ – среднее месячное (климатическое) количество общей облачности в данном районе (квдрате).

Сравнение результатов расчетов по формулам (1) и (2) показало, что отличия в значениях вероятности не превышают 1 %.

На рис. 1 представлены результаты номографирования формулы (2). Исходными для расчета данными являются: приемлемое для потребителя значение вероятности успешного обзора земной поверхности (изолинии на поле номограммы) и среднее месячное (климатическое) значение количества общей облачности в зоне инспектируемого района.

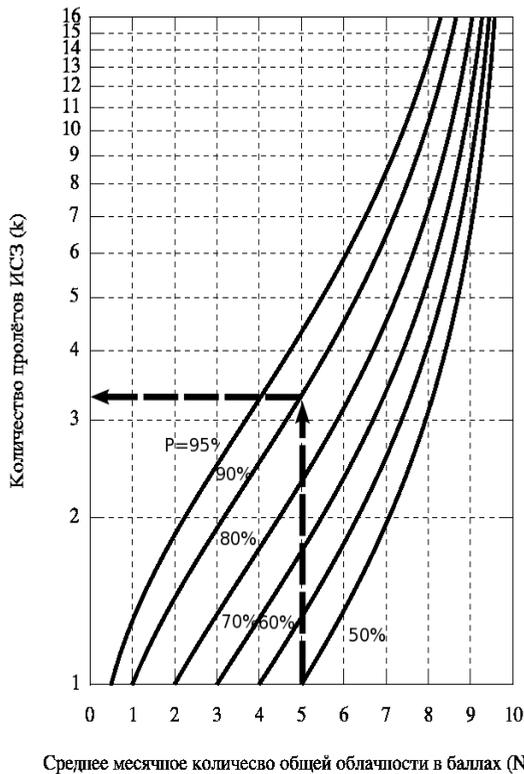


Рис. 1. Номограмма для расчета количества пролетов ИСЗ (k) с суточным интервалом по заданным значениям вероятности успешного обзора земной поверхности (P) и среднему месячному количеству общей облачности ($N_{\text{ср}}$). Стрелками показан пример расчета для $N_{\text{ср}} = 5$ баллов и $P_k = 90\%$

Примером практического использования варианта такой номограммы при оценке возможностей использования спутниковых оптических систем являются результаты расчетов по ней 90 %-ной вероятности обзора Антарктиды и прилегающей акватории Южного океана в навигационный период [Воробьев, 2006, 4].

Во время производства непрерывных наблюдений за состоянием земной поверхности с помощью оптических спутниковых систем землеобзора и находящимися на ней объектами возникает необходимость оценки вероятности получения положительного результата, если при исходном пролете объект наблюдения был закрыт облачностью.

Решение этой задачи основывается на предположении, что влияние исходного (при начальном пролете ИСЗ) количества общей облачности на последующее распределение вероятности успешного обзора земной поверхности ограничивается результатами наблюдений только при 1-2 последующих пролетах ИСЗ. Это связано со слабой межсуточной корреляцией среднего количества общей облачности [Воробьев, 1981]. В последующие сутки распределение количества общей облачности должно соответствовать климатическому. Поэтому в [Воробьев, 2006, 5] предложена и апробирована путем параллельных расчетов с ежедневными данными по формуле (1) следующая формула:

$$P_k = 1 - N_H N_{\text{cp}}^k, \quad (3)$$

где N_H – количество общей облачности в момент пролета ИСЗ, закрывающей объект наблюдения.

Ошибки расчетов по формуле (3), если в качестве критерия использовать результаты расчетов по данным ежедневных наблюдений, не превышают 3 % и наиболее велики впервые два дня после того, как объект наблюдения был закрыт облачностью.

В нашем случае задача состоит в определении необходимого количества пролетов ИСЗ (k) после того, как наземный объект наблюдения оказался закрытым облаками. Поэтому при номографировании формулу (3) удобнее использовать в виде

$$N_{\text{cp}}^k = \frac{1 - P_k}{N_H}. \quad (4)$$

На рис. 2 представлена номограмма для расчета правой части формулы (4). Исходными данными для расчетов являются значения вероятности успешного обзора объекта наблюдения (изолинии на поле номограммы) и количество общей облачности, закрывшей объект наблюдения при пролете ИСЗ над ним (ось абсцисс). Снятая с оси ординат величина представляет собой значение правой части формулы (4), т.е. N_{cp}^k , и является одним из входных параметров в следующую номограмму (рис. 3), по оси абсцисс которой отложена искомая величина – необходимое количество пролетов ИСЗ, обеспечивающее приемлемую для потребителя вероятность успешного обзора объекта наблюдения.

Таким образом, воспользовавшись приведёнными в статье номограммами, можно в оперативном режиме оценить возможности использования оптических систем землеобзора, как при планировании их применения, так и непосредственно в процессе производства наблюдений за состоянием подстилающей поверхности и находящимися на ней объектами.

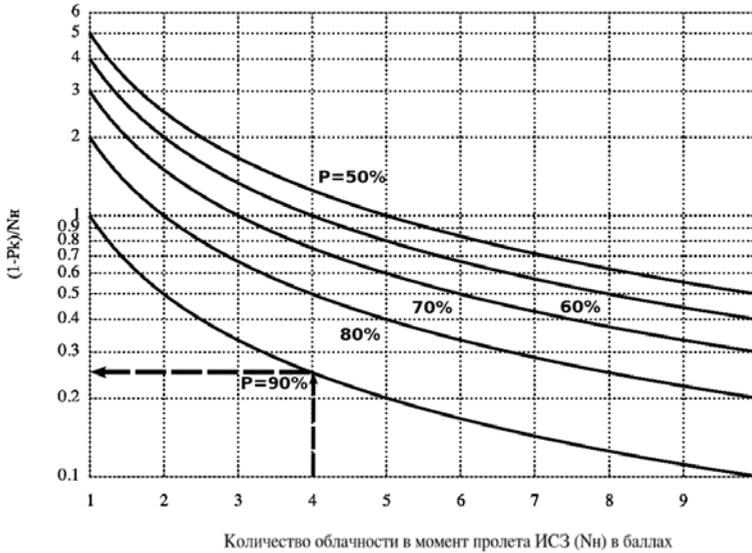


Рис. 2. Номограмма для расчета N^k_{cp} . Стрелками показан пример расчета для $N_H = 4$ балла и $P_k = 90\%$

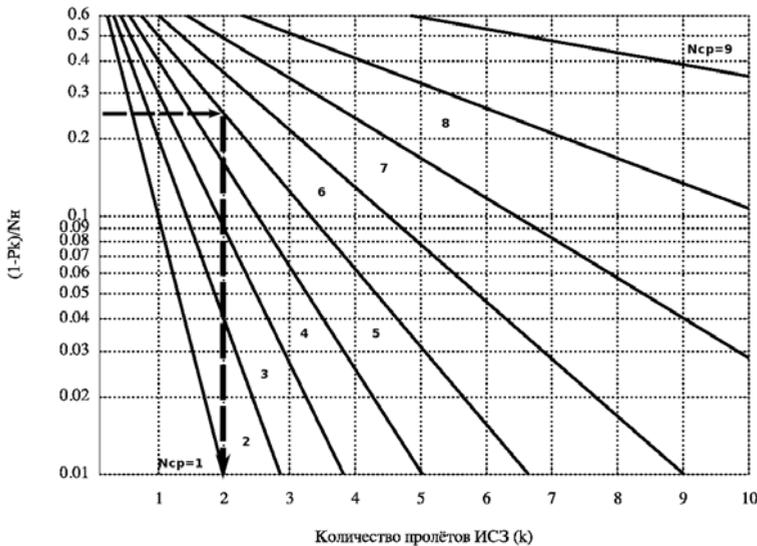


Рис. 3. Номограмма для расчета количества пролетов ИСЗ, необходимых для успешного обзора наземного объекта, если он был экранирован облачностью в начальный момент наблюдения.

Стрелками показан пример расчета для $N_H = 4$ балла, $P_k = 90\%$ и $N_{cp} = 5$ баллов

Литература

1. Воробьев В.И., Фадеев В.С., Характеристики облачного покрова северного полушария по данным метеорологических спутников. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 173 с.
2. Воробьев В.И. Исследования макроструктуры планетарных облачных полей по спутниковым данным. Гидрометеорология научно-техническому прогрессу. Сборник научных трудов. – Л.: изд. ЛГМИ, 1990, с. 19-25.
3. Воробьев В.И., Розанова И.В., Розанов Р.Е. Априорная оценка вероятности успешного обзора земной поверхности из космоса по климатическим данным о количестве общей облачности // Исследование земли из космоса, 2002, № 1, с. 38-41.
4. Воробьев В.И., Розанова И.В., Кебич А.П. Априорная оценка вероятности успешного обзора Антарктиды и приантарктической акватории Южного океана в навигационный период с помощью спутниковых систем оптического диапазона // Ученые записки РГГМУ, 2006, № 3, с. 85-94.
5. Воробьев В.И. Оперативная вероятностная оценка возможности получения информации о состоянии земной поверхности с помощью спутниковых оптических систем // Ученые записки РГГМУ, № 2, 2006, с. 95-101.
6. Глаголев Н.А. Курс номографии. – М.: Высшая школа, 1961. – 270 с.
7. Успенский Б.Д., Веселова Г.К. Новая аэрологическая диаграмма и применение её при диагнозе и прогнозе погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 28 с.