

УДК 629.78

© И. Л. Борисенков¹, В. В. Гуляков², М. И. Калинов³, В. А. Родионов³

¹Секция прикладных проблем при Президиуме РАН, г. Москва

²ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург

³Санкт-Петербургское отделение Секции прикладных проблем при Президиуме РАН
cesavo@mail.ru

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ КАРТ ПЕРИОДИЧНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрены основные этапы моделирования процесса функционирования космической системы мониторинга морской поверхности и статистической оценки периодичности обнаружения морских объектов. Представлен методический подход к формированию карт периодичности обнаружения морских объектов, включающий обоснование интервала оценки, квантование морской поверхности, определение периодичности в каждом кванте и отображение полученных данных на фоне цифровой морской карты. Приведены примеры карт периодичности обнаружения морских объектов космическими системами. Определены перспективы формирования подобных карт для наглядного представления результатов оценки эффективности применения космических систем и их информационных свойств. Ожидается, что использование этих карт будет способствовать повышению оперативности и обоснованности решений по управлению космическими системами при их применении по целевому назначению.

Ключевые слова: космические системы, мониторинг, морская поверхность, моделирование, эффективность, периодичность, карта.

I. L. Borisenkov¹, V. V. Gulyakov², M. I. Kalinov³, V. A. Rodionov³

¹Section of applied problems at the Presidium of RAS, Moscow, Russia

²Research Institute of shipbuilding and armament of the Navy Military educational and scientific center of the Navy «Naval Academy», St.-Petersburg, Russia

³St.-Petersburg branch of the Section of applied problems at the Presidium of RAS, Russia

THE METHODOLOGICAL APPROACH TO THE FORMATION OF MAP OF MARINE OBJECTS DETECTION FREQUENCY BY SPACE SYSTEMS OF SEA SURFACE MONITORING

The main stages of modeling of space system's operation for sea surface monitoring and for statistical evaluation of marine objects detection frequency are described. The methodical approach to the formation of maps of marine objects detection frequency including substantiation of estimation interval, quantization of sea surface, the definition of frequency in each quantum and displaying the received data on the background of digital marine map is presented. Examples of maps of the detection frequency of marine objects by space systems are shown. The prospects of formation of such maps for visualizing the results of evaluation of the effectiveness of space systems and their informational properties application. It is expected that the use of these maps will increase the efficiency and reliability of the decisions on the management of space systems when they are used for the intended purpose.

Key words: space systems, monitoring, sea surface, modeling, efficiency, frequency, map.

В современных условиях космические системы (КС) находят все более широкое применение для решения различных задач информационного обеспечения морской деятельности. При этом особое место занимают задачи мониторинга морской поверхности (ММП). Для органов управления различными иерархическими уровнями и потребителей информации важное значение имеет знание потенциальных возможностей КС ММП. Эти возможности могут быть определены путем оценки эффективности применения и информационных свойств космических систем. Такие оценки производятся с помощью специальных методик, которые в настоящее время поддерживаются в актуальном состоянии в Санкт-Петербургском отделении Секции прикладных проблем при Президиуме РАН.

Важнейшим информационным свойством КС ММП является периодичность обнаружения морских объектов (МО). Различают два методических подхода к определению периодичности: аналитический и статистический. Аналитический подход позволяет получать значения средних

интервалов времени между обнаружениями МО с помощью упрощенных аналитических выражений и используется, в основном, для получения первичного представления о возможностях КС [1]. Существенным недостатком этого подхода является его нечувствительность к структуре орбитальной группировки (ОГ) космических аппаратов (КА), решающих задачи ММП, и долготе возможного нахождения МО.

Этот недостаток успешно устраняется в статистическом подходе к определению периодичности обнаружения МО [2, 3]. Для реализации этого подхода используется статистическая модель КС ММП, с помощью которой осуществляется генерация событий «обнаружение МО». Моделирование процесса функционирования системы и последующая оценка периодичности обнаружения МО включают в себя следующие основные этапы:

- формирование исходных данных;
- расчет трасс полета КА;
- расчет координат границ полосы обзора КА;
- проверка факта накрытия полосой обзора КА заданного района;
- проверка факта попадания МО в полосу обзора КА;
- проверка факта фиксации признаков МО бортовым специальным комплексом (БСК) КА;
- проверка факта приема на пункте приема информации (ППИ) информации от КА;
- проверка факта распознавания МО на ППИ;
- оценка периодичности обнаружения МО.

Для максимального приближения модели функционирования КС ММП к реальной обстановке производится имитация неопределенности положения МО в заданном районе. Формируется множество сценариев действий МО путем розыгрыша координат возможного положения объекта при очередном пролете КА над районом, и проводятся проверки по 4—8-му этапам моделирования. В результате моделирования определяются количество обнаружений объекта n (при его действиях по каждому из m сценариев), а также интервалы времени между его обнаружениями dt (рис. 1, 2).

Приведенные данные свидетельствуют о высокой неопределенности количества обнаружений КС ММП морского объекта при розыгрыше различных сценариев его маневрирования в заданном районе. При этом (для рассмотренного варианта) минимальное количество обнаружений — 3, максимальное — 12, среднее ≈ 8.2 (дополнительная горизонтальная линия на рис. 1). Как показали выполненные исследования, при наращивании орбитальной группировки КА размах указанной неопределенности снижается.

На рис. 2 показано, что на заданном интервале оценки (24 ч) произошло 8 пролетов КА над заданным районом. 2-й, 5-й, 6-й и 7-й пролеты были наиболее информативными. Количество условных символов «●», соответствующих обнаружению МО при конкретном сценарии его маневрирования в этих пролетах, высокое. Первый пролет является менее информативным (всего 13 обнаружений из 50 возможных), а третий и восьмой пролеты — фактически неинформативными (5 и 2 обнаружения соответственно). В качестве примера показано, что по одному из сценариев маневра МО интервал между его обнаружениями в 3-м и 4-м пролете КА составит $dt \approx 6.3$ ч.

Большой практический интерес для различных потребителей представляет информация о том, какую часть всего интервала оценки занимают конкретные интервалы между обнаружениями МО (обычно такие

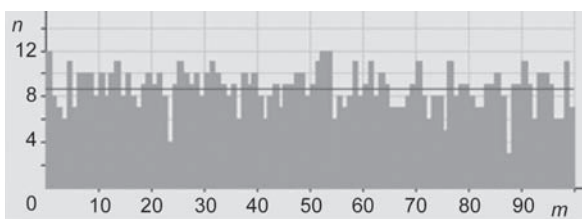


Рис. 1. Количество обнаружений морского объекта при 100 сценариях его возможных действий (вариант).

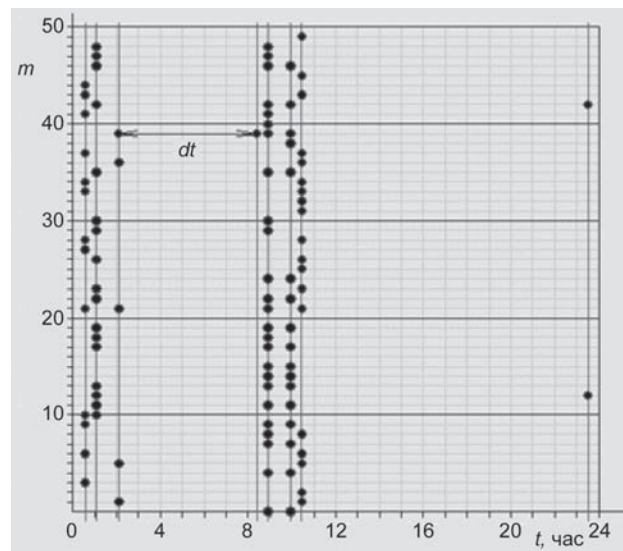


Рис. 2. К определению временных интервалов между обнаружениями морского объекта при 50 сценариях его возможных действий (вариант). Абсциссы вертикальных линий соответствуют временам пролетов КА над заданным районом, а символы «●» — появлению события «обнаружение МО».

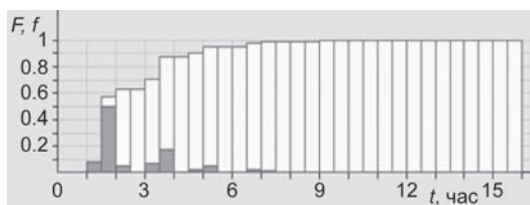


Рис. 3. Статистические законы распределения вероятностей попадания в различные интервалы времени между обнаружениями МО при 100 сценариях его возможных действий (вариант).

обнаружениями МО будет не более 4 ч. При необходимости может быть решена и обратная задача: определение вероятности того, что интервал между обнаружениями не превысит заданного значения. Так, из рис. 3 следует, что вероятность того, что интервал времени между обнаружениями МО не превысит 3 ч, примет значение 0.65.

Представленная модель является основой методики оценки информационных свойств КС ММП и удобна для проведения расчетов в конкретном (заданном органами управления) районе морской деятельности. Однако на практике часто возникает потребность в оперативных данных по информационным возможностям КС ММП сразу в нескольких районах (например, в интересах обеспечения судоходства) или в глобальном масштабе (при оценке гарантированного времени поиска и обнаружения объектов, терпящих бедствие, с помощью КС ММП типа «КОСПАС-САРСАТ») и т. п. Очевидно, что для решения подобного класса задач должна применяться другая (интегральная, глобальная) форма представления информации.

Многoletний опыт показал высокую эффективность применения различных карт (навигационных, гидрометеорологических, геофизических и др.) в интересах информационного обеспечения морской деятельности. Такой опыт может быть распространен и на форму представления данных об информационных возможностях КС ММП. В ходе выполнения исследований был разработан методический подход к формированию карт периодичности обнаружения морских объектов космическими системами мониторинга морской поверхности. Этот подход включает:

- обоснование интервала оценки;
- определение размера кванта (по широте и долготе), в пределах которого периодичность обнаружения МО считается постоянной;
- квантование морской поверхности;
- определение на заданном интервале оценки периодичности обнаружения МО в пределах каждого кванта для всего возможного для данной КС ММП диапазона широт и долгот;
- отображение полученных данных о периодичности обнаружения МО на фоне цифровой морской карты (ЦМК).

При необходимости карты периодичности обнаружения морских объектов космическими системами мониторинга морской поверхности могут быть составлены для различных составов и баллистических структур орбитальных группировок КА космических систем ММП и различных интервалов оценок.

Очевидно, что периодичность обнаружения МО зависит от выбора интервала оценки. Однако слишком большой интервал оценки может неоправданно увеличить и сделать недопустимым время расчета. Поэтому необходимо ограничивать этот интервал. Выполненные исследования показали, что приемлемые для практических целей оценки периодичности могут быть получены, если при проведении расчетов руководствоваться следующими соображениями:

- для квазисинхронных орбит при малых ОГ КА наилучшим интервалом оценки является период замыкания трасс полета КА, а при наращивании ОГ — половина этого периода;
- в других случаях значение интервала оценки выбирается в соответствии с моментом окончания переходных процессов и начала стабилизации значений показателей эффективности применения КС (обычно этот интервал составляет 1—3 сут в зависимости от состава ОГ КА и параметров его БСК);
- время расчетов не должно превышать разумных значений (в общем случае — не более нескольких часов на каждую карту).

Результаты моделирования показали, что достаточно удобными для формирования карт являются размеры кванта $2 \times 2^\circ$. Меньшие значения кванта снижают чувствительность метода к скорости маневра МО между пролетами КА над заданным районом, а большие — загроубляют получаемые оценки.

В процессе квантования производится определение принадлежности каждого кванта (или большей его части) к морской поверхности, для чего организуется запрос кода цвета ЦМК в нескольких

интервалы задаются с определенным шагом, например, 0.5; 1; 3 ч и т. п.). Для этого на основе данных о всех интервалах времени между обнаружениями объекта по всем сценариям его возможных действий строятся дифференциальный (f) и интегральный (F) законы распределения вероятностей попадания в различные интервалы времени между обнаружениями МО (рис. 3) [4].

С помощью полученных законов удобно определять значения временных интервалов между обнаружениями МО с вероятностью не ниже заданной. Например, для варианта, представленного на рис. 3, с вероятностью не ниже 0.8 интервал времени между

точках текущего кванта. Если при этом код цвета ЦМК соответствует кодировке морской поверхности, то формируется соответствующий признак. В противном случае считается, что текущий квант попал на береговую поверхность. Такие кванты исключаются из последующего расчета.

Для каждого кванта, принадлежащего морской поверхности, в соответствии с представленной выше процедурой производится моделирование процесса функционирования космической системы ММП и последующая оценка периодичности обнаружения МО. Полученные данные записываются в специальный файл. Данные о периодичности обнаружения МО могут использоваться в полном или ограниченном объеме в зависимости от решаемой задачи. Для удобства восприятия этих данных на фоне ЦМК используется специальное цветовое кодирование.

В ходе исследований была разработана компьютерная модель, позволяющая формировать карты периодичности обнаружения морских объектов космическими системами ММП. С ее помощью было сформировано несколько глобальных и локальных карт (рис. 4, 5, см. вклейку), на которых отображались значения максимальных интервалов между обнаружениями МО с вероятностью не ниже 0.8. При этом рассматривались 2 типа КА (ширина полосы обзора КА первого типа — 1500—2000 км, второго — 3500—4000 км) и три интервала оценки: 1, 3, 6 сут.

Анализ полученных данных показал следующее:

- при ограниченных орбитальных группировках КА периодичность обнаружения МО существенно зависит не только от широты, но и от долготы объекта — в средних и приэкваториальных широтах отличие значений периодичности в соседних квантах может составить десятки часов;

- на оценку периодичности обнаружения МО при малых ОГ КА оказывает влияние интервал оценки; сокращение интервала оценки до половины периода замыкания трасс может привести к получению лучших оценок по сравнению с оценками для полного периода (рис. 4, см. вклейку);

- при больших орбитальных группировках КА зависимость периодичности обнаружения МО от долготы проявляется в меньшей степени — отличие значений периодичности в соседних квантах не превышает единиц часов (рис. 5, см. вклейку), при этом на основе данных о начале стабилизации значений показателей эффективности применения КС в качестве интервала оценки выбраны 1 сут;

- возможности КС ММП при малых ОГ КА первого типа существенно ограничены — в основном, они способны обнаруживать МО с периодичностью 2—3 сут, и только в диапазоне широт 47—68° интервал времени между обнаружениями МО сокращается до 24—36 ч (рис. 4, см. вклейку);

- при наращивании ОГ до 6 КА второго типа возможно получение значений периодичности МО от 1.5 до 3 ч в высоких и средних широтах и от 3 до 6 ч в приэкваториальных широтах (рис. 5, см. вклейку).

В перспективе по аналогии с картами периодичности обнаружения МО могут формироваться и другие типы карт:

- карты оценок эффективности применения КС ММП (времени решения частных задач КС с вероятностью не ниже заданной, средних значений вероятности информационного обеспечения специальных технических средств при заданном допустимом времени устаревания данных);

- карты оценок времени ожидания следующего обнаружения МО (особое значение такие карты имеют при ограниченных орбитальных группировках КА);

- карты количества обнаружений МО в сутки (минимального, среднего, максимального) и др.

Совокупность подобных карт позволит в кратчайшие сроки оценить потенциальные возможности КС ММП и повысить оперативность и обоснованность решений по управлению такими системами при их применении по целевому назначению.

Таким образом, в процессе выполнения исследований разработан методический подход к формированию карт периодичности обнаружения морских объектов космическими системами мониторинга морской поверхности. Представлены результаты моделирования процесса функционирования космических систем и примеры карт периодичности обнаружения морских объектов. Определены перспективы формирования подобных карт для наглядного представления результатов оценки эффективности применения космических систем и их информационных свойств. Ожидается, что использование этих карт будет способствовать повышению оперативности и обоснованности решений по управлению космическими системами при их применении по целевому назначению.

Литература

1. Использование информационных космических систем в ВМФ. Ч. 1 / Под ред. В. В. Селиховкина. СПб.: ВМА, 1997. 358 с.
2. *Завилевич Д. Н.* и др. Исследование периодичности обнаружения объектов наблюдения при совместном применении космических систем наблюдения с космическими аппаратами на средних и низких орбитах // Тр. 16-й Всерос. науч.-практич. конф. «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Т. 4. СПб.: НПО Спецматериалов, 2013. С. 316—321.
3. *Борисенков И. Л., Калинов М. И., Родионов В. А.* Отечественные космические системы радиолокационного и радиоэлектронного мониторинга земной поверхности // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2014. № 2 (195). С. 18—25.
4. *Абэгауз Г. Г.* и др. Справочник по вероятностным расчетам. М.: Воениздат, 1970. 536 с.

Статья поступила в редакцию 14.04.2015 г.

К статье *Борисенков И. Л.* и др. «**Методический подход...**»

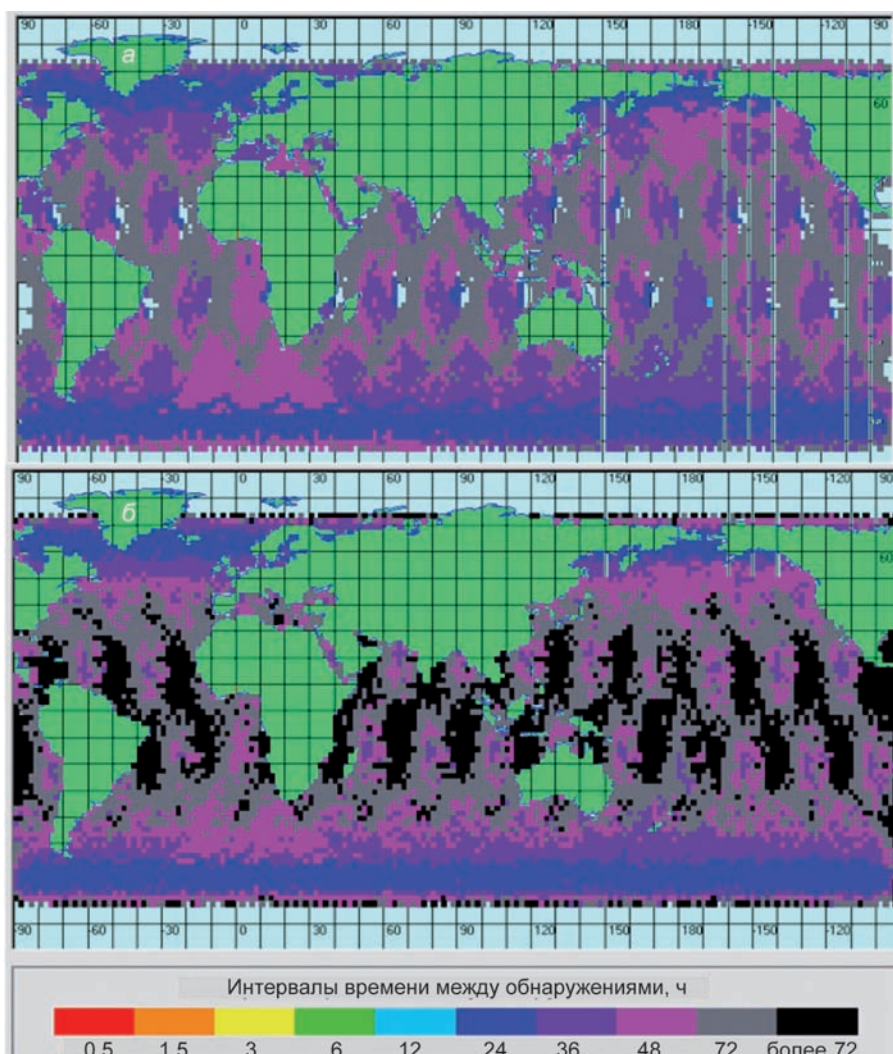


Рис. 4. Глобальная карта периодичности обнаружения МО при 100 сценариях его возможных действий (состав ОГ — 1 КА, интервал оценки — 3 сут (а), 6 сут (б), вариант).

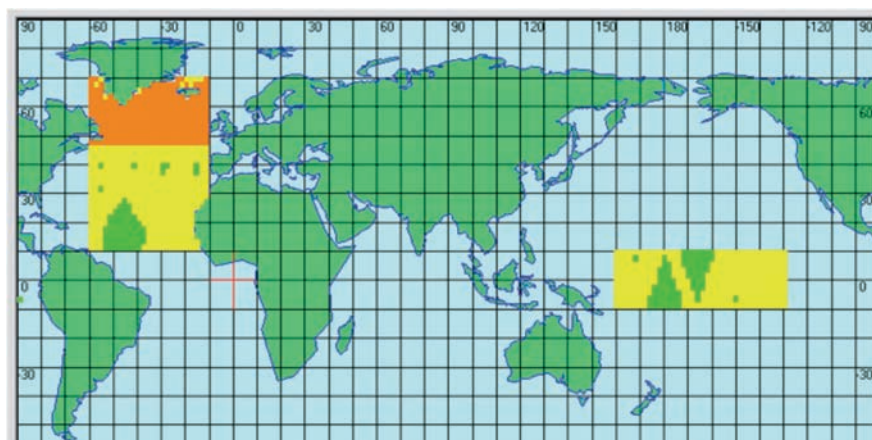


Рис. 5. Локальная карта периодичности обнаружения МО при 100 сценариях его возможных действий (состав ОГ — 6 КА, интервал оценки — 1 сут, вариант).
Цветовая шкала - см. рис. 4.