

ВОЗМОЖНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПО КОНТРОЛЮ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ И ПО МАРШРУТУ «УСТЬ-ЛУГА – БАЛТИЙСК»

В.П. Говорухин, М.И. Калинов, В.А. Родионов (Санкт-Петербург)

Анализ современного состояния судоходства показал, что для обеспечения безопасности плавания судов требуется постоянный контроль и оперативное реагирование на изменения морской обстановки. Это приводит к необходимости создания постоянно действующей системы наблюдения за морской обстановкой в различных районах, в том числе, и на Балтийском море, в котором интенсивность морских перевозок (особенно по маршруту «Усть-Луга – Балтийск») за последние годы увеличилась в несколько раз [1].

Одним из элементов такой системы могут быть отечественные космические средства – космические системы (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Наклонение солнечно-синхронных орбит космических аппаратов (КА) ДЗЗ (≈ 97 градусов) позволяет им решать задачи наблюдения за морской обстановкой в различных районах Балтийского моря и по маршруту «Усть-Луга – Балтийск». По состоянию на 01.01.2026 г. задачи постоянного наблюдения за судоходством в Балтийском море могут решать отечественные КС с двумя космическими аппаратами (КА) радиолокационного наблюдения (РЛН) типа «Кондор-ФКА», двумя КА оптико-электронного наблюдения (ОЭН) типа «Ресурс-П» и пятью КА ОЭН типа «Канопус».

Имеется ряд важных особенностей, которые следует учитывать при оценке возможностей указанных КС ДЗЗ для наблюдения за морскими судами в Балтийском море:

- близость береговой черты и ограниченность в выборе курсов морских судов;
- условия наблюдения, определяемые освещенностью района;
- времена устаревания данных об обстановке в регионе;
- возможность распознавания морских судов в условиях фоно-целевой обстановки различной степени сложности;
- влияние прецессии узлов орбит КА ДЗЗ, имеющих разную высоту полета;
- наличие (отсутствие) априорной информации о судах, осуществляющих переход в заданном для наблюдения районе или по маршруту «Усть-Луга – Балтийск»;
- времена задержки информации от момента подачи заявки на получение данных о морской обстановке до момента получения потребителем готового продукта КС ДЗЗ и др.

Можно выделить два варианта получения данных о морской обстановке при оценке возможностей КА ДЗЗ. В первом варианте считается, что имеется априорная информация о морской обстановке, полученная от других источников и объекты наблюдения (ОН) находятся в некоторой ограниченной области возможного положения. Для просмотра такой области возможного положения объекта наблюдения (ОВПОН) осуществляется необходимый заблаговременный поворот антенного устройства (для КА РЛН типа «Кондор-ФКА») или разворот всего КА ОЭН (для КА типа «Ресурс-П» и КА типа «Канопус»). При этом размеры просматриваемых КА участков земной поверхности будут определяться в соответствии с диапазонами их углов визирования (падения). Очевидно, что при таком варианте применения КС ДЗЗ их возможности будут максимальными. Наличие на побережье Балтийского моря других средств наблюдения за морскими судами позволяет считать данный вариант при оценке возможностей КС ДЗЗ основным. В рамках настоящей статьи оценка возможностей КС ДЗЗ приведена для этого варианта.

При втором варианте предполагается отсутствие априорной информации об объектах наблюдения. В этом случае считается, что ширина полосы обзора КА равна ширине полосы захвата, которая значительно меньше ширины полосы обзора. Возможности КС ДЗЗ при таком варианте их применения будут минимальными. Следует отметить, что правильное распознавание морских судов возможно на радиолокационных (оптических) изображениях, полученных с разрешением не хуже 5–10 м.

Некоторые характеристики КА, учитываемые при оценке возможностей КС ДЗЗ, представлены в табл. 1 [2–4].

Таблица 1

Характеристики отечественных космических аппаратов ДЗЗ

Характеристики	Наименование КА		
	«Кондор-ФКА»	«Ресурс-П»	«Канопус»
Высота орбиты, км	520	475	510
Наклонение орбиты, град.	97	97	97
Угол визирования (падения), град.	±24-55	±45	±40
Полоса захвата, км	100	97	20

Для эффективного планирования и управления применением КС по целевому назначению необходимо проводить априорную оценку их возможностей, т.е. свойств предполагаемого явления, события, действия, которые позволяют им осуществиться [5]. Основным случайным событием, которое многократно появляется в процессе применения рассматриваемых КС для контроля судоходства в Балтийском море и по маршруту «Усть-Луга – Балтийск», является «обнаружение объекта наблюдения». На основе знаний о появлении этого события возможна оценка следующих основных вероятностных и временных характеристик:

- вероятности обнаружения ОН заданное количество раз;
- времени, необходимого для обнаружения ОН заданное количество раз;
- вероятности слежения за обнаруженным ОН с заданным допустимым временем устаревания данных;
- интервалов времени между обнаружениями ОН;
- количества обнаружений.

Знание интервалов времени между обнаружениями ОН позволяет оценить периодичность наблюдения с помощью КС за назначенными (заданными) объектами (далее – периодичность). Вместе с тем существующие методы и модели, позволяющие оценивать периодичность, имеют недостатки, связанные с тем, что в них не в полной мере учитываются:

- неопределенность положения ОН в заданном районе или области возможного положения объекта наблюдения;
- возможные маршруты движения ОН;
- зависимость правильного распознавания обнаруженного объекта от времени устаревания данных;
- интервал оценки и время его начала и др.

При этом, как правило, оценивается только средняя (иногда – максимальная и минимальная) периодичность путем нахождения среднего (максимального и минимального) значения из всей совокупности интервалов времени между пролетами КА над заданным местоположением ОН, что приводит к формированию искаженного (неполного) представления у пользователей о реальных значениях периодичности [2–10].

Для коррекции таких представлений необходима разработка и применение соответствующих методов, моделей и форм отображения получаемых результатов, которые бы позволили пользователям получить знания обо всей совокупности интервалов времени между обнаружениями объекта наблюдения, находящегося в заданном районе или осуществляющего переход по заданному маршруту. Очевидно, что такой формой может быть закон распределения вероятностей попадания в интервалы между обнаружениями ОН.

В рамках настоящей статьи оценка возможностей КС ДЗЗ, способных решать задачу наблюдения за морской обстановкой в Балтийском море и по маршруту «Усть-Луга – Балтийск», проводилась с помощью имитационно-моделирующего комплекса (ИМК) информационных космических систем, поддерживаемого в актуальном состоянии в Санкт-Петербургском отделении Секции прикладных проблем при Президиуме РАН и Санкт-Петербургском научном центре РАН [6]. В состав ИМК входит более 100 компьютерных моделей и методик, позволяющих на основе имитационного моделирования решать широкий круг задач, в том числе и задачи оценки возможностей КС.

Решение рассматриваемой задачи по маршруту «Усть-Луга – Балтийск» удобно проводить с помощью входящей в состав ИМК компьютерной методики, разработанной на основе известного сценарно-временного метода (СВМ), в котором имитация неопределенности положения объекта наблюдения осуществляется в некоторой ограниченной ОВПОН, перемещающейся по ортодромии с заданной скоростью между указанными заранее маршрутными точками, соответствующими данному маршруту перехода. Оценка возможностей КС ДЗЗ в районах Финского залива и центральной части Балтийского моря осуществлялась с помощью двух других компьютерных методик, созданных на основе СВМ и разностно-долготного метода (РДМ), которые различаются правилами (процедурами) определения фактов накрытия полосой обзора заданного района и попадания ОН в полосу обзора КА и формами визуализации исследуемых процессов. Далее для удобства указанные выше компьютерные методики будут называться первой, второй и третьей методиками соответственно.

При оценке возможностей отечественных КС ДЗЗ оценивались показатели:

- эффективности применения системы – вероятности слежения за ОН с заданным допустимым временем устаревания данных (далее – вероятности слежения);
- периодичности – максимального интервала времени между обнаружениями ОН с вероятностью не ниже 0,8 (далее – периодичности);
- количества обнаружений ОН в сутки (далее – количества обнаружений).

Упрощенная структурная схема взаимосвязи моделей ИМК при оценке возможностей КС ДЗЗ представлена на рис. 1.

Неопределенность положения и состояния объекта наблюдения в первой и второй методиках создавалась путем имитации (розыгрыша) 100 объектов, первоначально равномерно распределенных в заданном районе (ОВПОН), и их возможного маневра (перемещения) в пределах этого района (внутри подвижной ОВПОН) между пролетами КА.

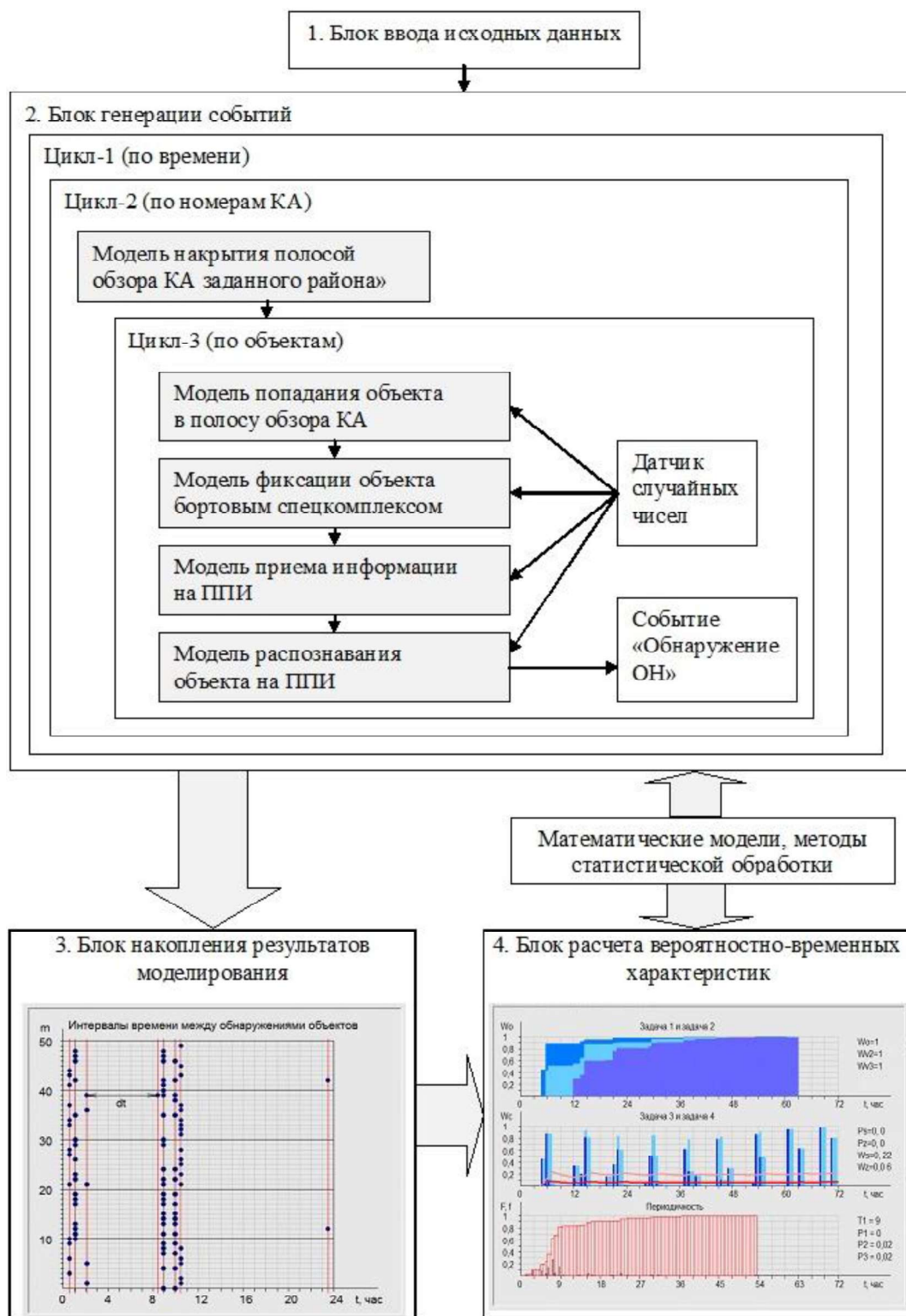


Рис. 1. Упрощенная структурная схема взаимодействия моделей ИМК при оценке возможностей КС ДЗЗ

При этом в каждом пролете КА проводились определения координат и состояния каждого объекта, имитирующего один из возможных сценариев действий ОН. В третьей методике неопределенность положения ОН имитировалась квантованием средней широты района наблюдения и допущением равной вероятности распределения возможного положения ОН в каждом кванте.

Считалось, что КА ДЗЗ, осуществляющие решение задач наблюдения за морскими судами в Балтийском море, постоянно находились в зоне радиовидимости одного или нескольких пунктов приема информации (ППИ) Единой территориально распределенной информационной системы ДЗЗ и передавали на них первичную целевую информацию о морской обстановке в реальном масштабе времени.

Были приняты следующие исходные данные и допущения для оценки возможностей отечественных КС ДЗЗ по наблюдению за морскими объектами на маршруте «Усть-Луга – Балтийск», в районах Финского залива и центральной части Балтийского моря:

- количество КА в орбитальной группировке (ОГ) – 9 (2 КА РЛН и 7 КА ОЭН);
- орбитальное движение КА – невозмущенное;
- допустимое время устаревания данных (для задачи слежения) $T_{уст.}$ – 3 часа и 6 часов;
- скорость морских объектов на переходе – 10 и 20 уз;
- интервал оценки на переходе – время перехода заданной скоростью;
- интервал оценки в районе (с учетом времени стабилизации среднего значения вероятности слежения за ОН) – трое суток;
- время начала интервала оценки – 00 час 00 мин 00 с в первые (вторые, третьи, ... десятые) сутки существования системы;
- светлое время суток – 10–16 час;
- баллистические структуры ОГ КА – в соответствии с [2-4];
- начальное абсолютное и относительное взаимное положение плоскостей орбит КА задается (варьируется) пользователем при выполнении исследований;
- учитывается влияние времени устаревания данных на вероятность правильного распознавания зафиксированных бортовым специальным комплексом (БСК) КА объектов.

Возможный вариант применения первой методики с отображением результатов имитационного моделирования и оценки возможностей КС ДЗЗ при наблюдении за морскими перевозками по маршруту «Усть-Луга – Балтийск» представлен на рис. 2.

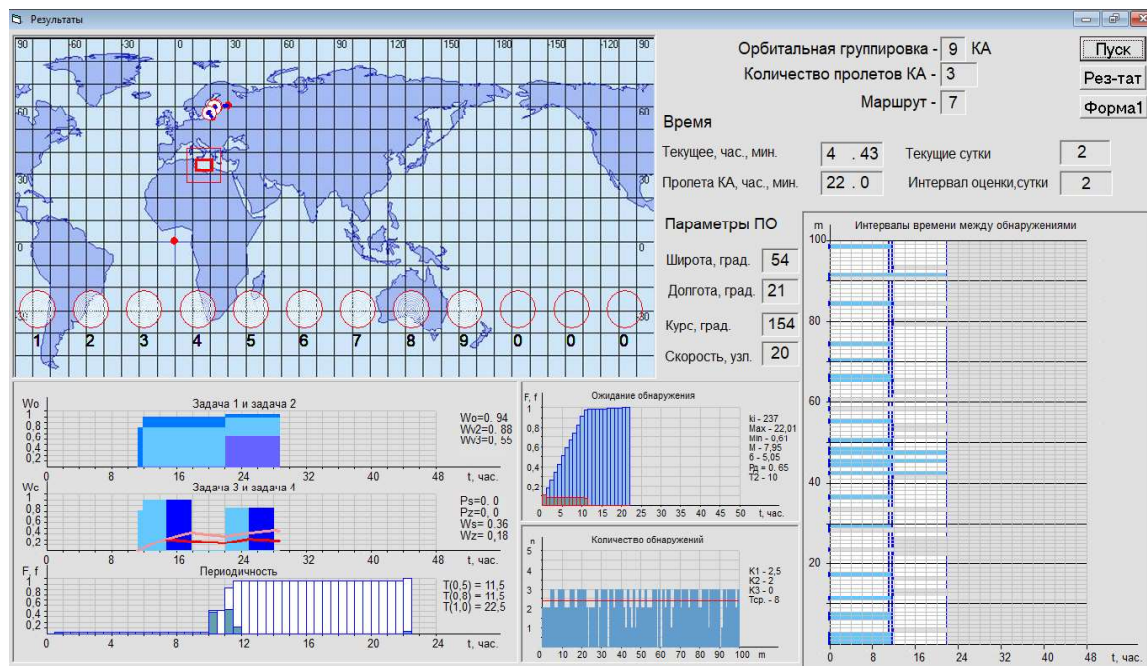


Рис. 2. Отображение получаемых результатов при оценке возможностей КС ДЗЗ по наблюдению за морскими судами на маршруте «Усть-Луга – Балтийск» (вариант)

При этом на экране компьютера отображается следующая текстографическая информация: количество КА в орбитальной группировке, количество пролетов КА над ОВПОН, номер маршрута перехода, текущее время функционирования КС ДЗЗ, время текущего пролета КА, текущие сутки, интервал оценки, маршрут перехода, ОВПОН при обнаружении ОН, потенциальное количество КА в системе, активные КА, вероятности обнаружения и выявления ОН, вероятности слежения за ОН (мгновенные и средние значения), максимальные значения интервалов времени между обнаружениями ОН с вероятностью не ниже 0,5, 0,8, 1,0, законы распределения вероятностей попадания в интервалы времен ожидания обнаружения, а также их числовые характеристики, количество обнаружений; максимальное значение времени ожидания обнаружения с вероятностью не ниже 0,8, максимальное, среднее и минимальное значения количества обнаружений ОН в сутки, среднее время (в часах) между обнаружениями ОН (по всей совокупности интервалов времени между его обнаружениями), условные символы (синие прямоугольники), соответствующие появлению события «обнаружение ОН» для каждого объекта (сценария) в каждом пролете КА.

Пример отображения результатов имитационного моделирования и оценки возможностей КС ДЗЗ с помощью второй методики приведен на рис. 3.

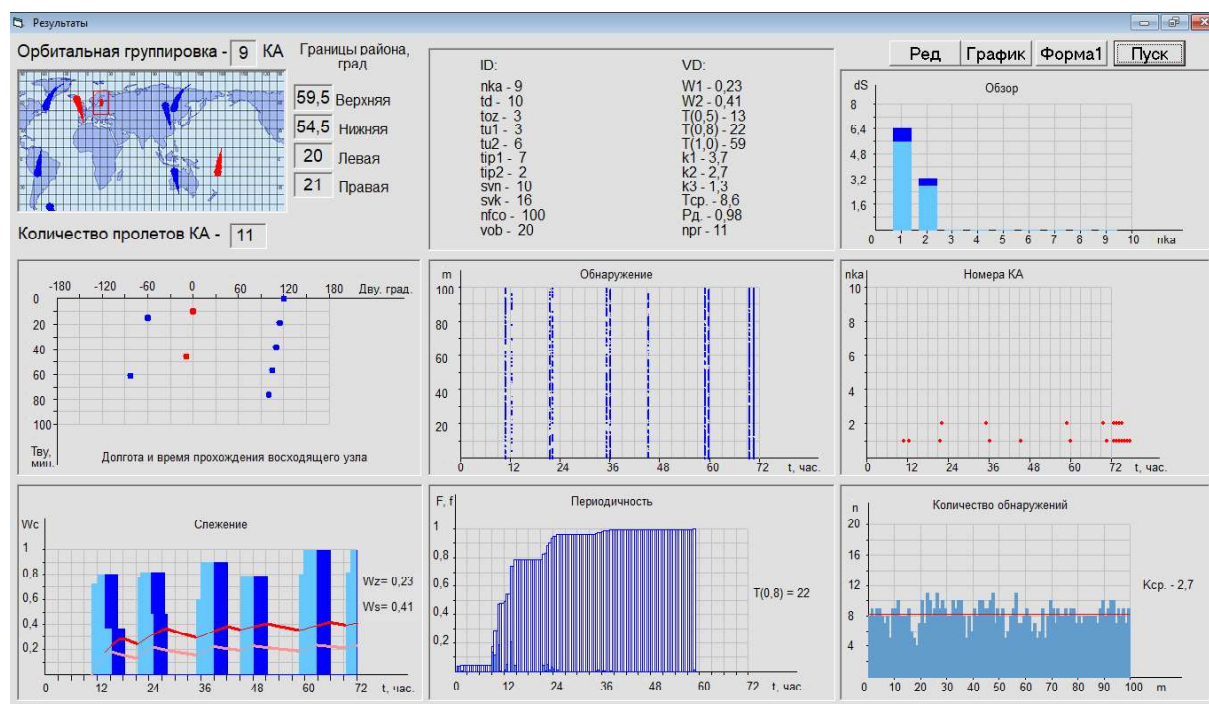


Рис. 3. Отображение получаемых результатов при оценке возможностей КС ДЗЗ по наблюдению за морскими судами в Финском заливе (вариант)

Для удобства пользователей на экране компьютера отображается следующая текстографическая информация: графическое отображение района наблюдения и начальных отрезков трасс полета КА на фоне цифровой морской карты, данные о границах района и количестве КА ДЗЗ в орбитальной группировке, данные о баллистической структуре ОГ КА: долготы восходящих узлов орбит КА и времена их прохождения (КА РЛН обозначены красным цветом, КА ОЭН – синим), мгновенные и средние значения вероятностей слежения за ОН W_s , W_z с допустимым временем устаревания данных 3 часов и 6 часов соответственно, основные исходные данные и выходные данные. отображение особым символом «●» фактов появления события

«Обнаружение объекта» для каждого из 100 разыгранных объектов в каждом пролете КА над заданным районом, дифференциальный и интегральный законы распределения вероятностей попадания в различные временные интервалы между обнаружениями, а также значение максимального интервала между обнаружениями с вероятностью не ниже 0,8, данные о временах пролета каждого КА (в графическом виде) над заданным районом на интервале оценки (обозначены символами «•») (график «Номера КА»), данные об информативности КА – доле площади района dS , просмотренной каждым КА на интервале оценки (график «Обзор»), данные о количестве обнаружений объектов.

При имитационном моделировании и оценке возможностей КС ДЗЗ с помощью третьей методики производится компьютерная визуализация (рис. 4):

- района наблюдения на фоне цифровой морской карты;
- средней широты и диапазона долгот заданного района наблюдения;
- долгот и времен прохождения восходящих узлов каждым КА орбитальной группировки;
- захватов по долготе (в мелком и крупном масштабах) на средней широте заданного района для каждого КА на интервале оценки;
- вероятностей и времен обнаружения (не менее заданного количества раз) объектов наблюдения, находящихся на заданной широте и в диапазоне долгот заданного района;
- вероятностей слежения за объектом наблюдения с допустимым временем устаревания данных 3 и 6 часов, находящимся на заданной широте и в диапазоне долгот заданного района, $W(3)$ и $W(6)$;
- закона распределения вероятностей попадания во временные интервалы между обнаружениями ОН;
- максимального значения интервала между обнаружениями ОН с вероятностью не ниже 0,8, $T(0,8)$;
- среднего количества обнаружений ОН в сутки.

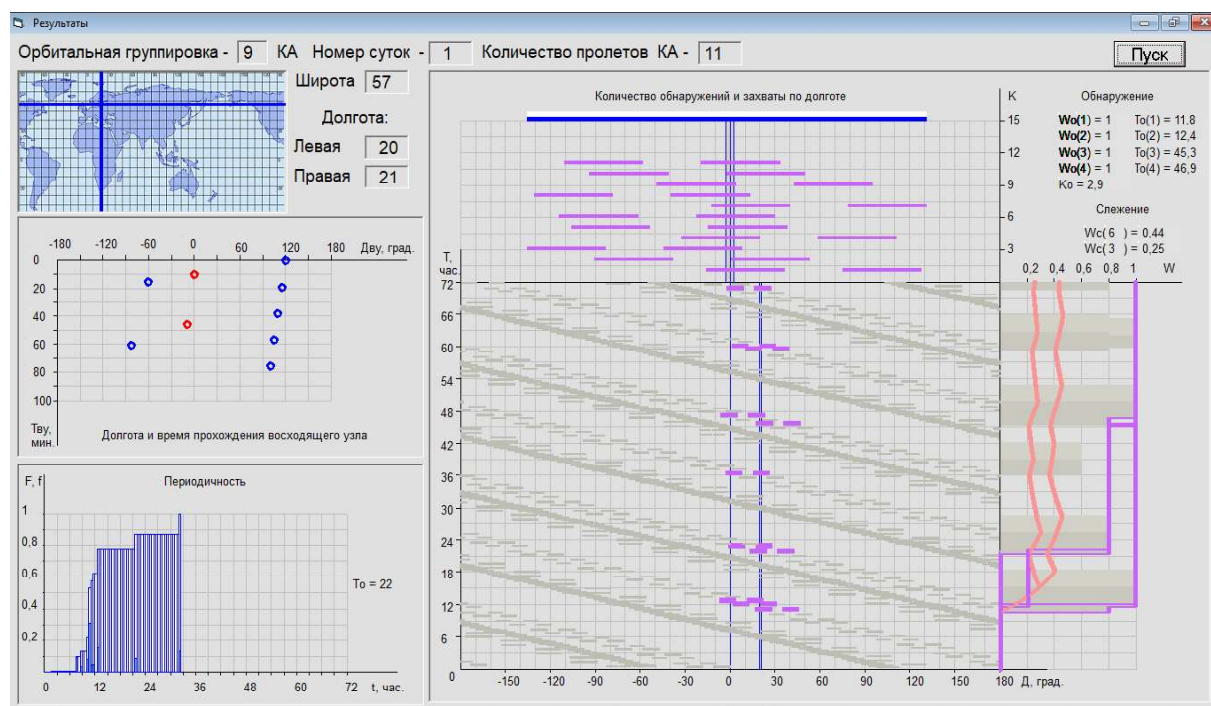


Рис. 4. Отображение получаемых результатов при оценке возможностей КС ДЗЗ по наблюдению за морскими судами в центральной части Балтийского моря (вариант)

Основные обобщенные результаты оценки возможностей отечественных КС ДЗЗ по наблюдению за морскими объектами в Балтийском море приведены в табл. 2–4. В каждой ячейке таблицы приводятся минимальные/усредненные/максимальные значения оцениваемых показателей.

Таблица 2

Результаты оценки возможностей отечественных КС ДЗЗ по наблюдению за морскими объектами на маршруте «Усть-Луга – Балтийск»

Скорость на маршруте перехода, уз	Вероятность слежения, Туст. = 3 ч	Вероятность слежения, Туст. = 6 ч	Периодичность, ч	Количество обнаружений
10	0,07/0,11/0,17	0,14/0,22/0,33	24,0/32,0/46,0	1,0/1,8/2,4
20	0,07/0,13/0,18	0,15/0,25/0,41	12,0/17,0/22,5	0,8/1,5/2,2

Таблица 3

Результаты оценки возможностей отечественных КС ДЗЗ по наблюдению за морскими объектами в Финском заливе

Метод	Вероятность слежения, Туст. = 3 ч	Вероятность слежения, Туст. = 6 ч	Периодичность, ч	Количество обнаружений
Сценарно-временной	0,23/0,25/0,27	0,41/0,43/0,46	14,0/17,0/22,5	2,4/2,8/3,1
Разностно-долготный	0,27/0,29/0,32	0,45/0,48/0,52	11,0/14,5/21,5	2,8/3,4/4,1

Таблица 4

Результаты оценки возможностей отечественных КС ДЗЗ по наблюдению за морскими объектами в центральной части Балтийского моря

Метод	Вероятность слежения, Туст. = 3 ч	Вероятность слежения, Туст. = 6 ч	Периодичность, ч	Количество обнаружений
Сценарно-временной	0,21/0,23/0,26	0,37/0,42/0,46	14,0/17,5/23,5	2,3/2,8/3,5
Разностно-долготный	0,23/0,26/0,31	0,36/0,45/0,52	11,0/16,0/23,0	2,2/3,0/3,7

Анализ результатов оценки возможностей отечественных КС ДЗЗ по наблюдению за морскими объектами в указанных районах Балтийского моря и на маршруте «Усть-Луга – Балтийск» показал, что в среднем:

- вероятности слежения и количество обнаружений практически не зависят от скорости морских судов на маршруте перехода;
- периодичность наблюдения морских судов на переходе при скорости 20 уз почти в два раза лучше, чем при скорости 10 уз;
- вероятности слежения в заданных районах при выполнении оценок на основе сценарно-временного метода (вторая методика) на 3–5% ниже, чем при получении оценок на основе разностно-долготного метода (третья методика);
- периодичность и количество обнаружений в заданных районах, рассчитанные по указанным методикам, имеют большее отличие (до 10–15% соответственно).

В среднем, при рассмотренных исходных данных с вероятностью 0,23–0,29 обеспечивается слежение за морскими судами при допустимом времени устаревания данных 3 ч и с вероятностью 0,42–0,48 – при допустимом времени устаревания данных 6 ч. На маршруте перехода эти показатели приблизительно в два раза хуже, что связано с перемещением ОВПОН и особенностями моделирования. Сравнительно невысокие значения вероятностей слежения за ОН связаны, в том числе и с тем, что при рассмотренном варианте построения ОГ информативны только КА РЛН типа «Кондор-ФКА», пролеты КА ОЭН приходится на темное время суток. При этом можно показать, что при сдвиге плоскостей орбит КА по долготе восходящего узла на 90 градусов (относительно представленных на рис. 3 и 4) и пролетах КА ОЭН над заданными районами Балтийского моря в светлое время суток можно получить значительно (в полтора–два раза) лучшие оценки искомых показателей (рис. 5).

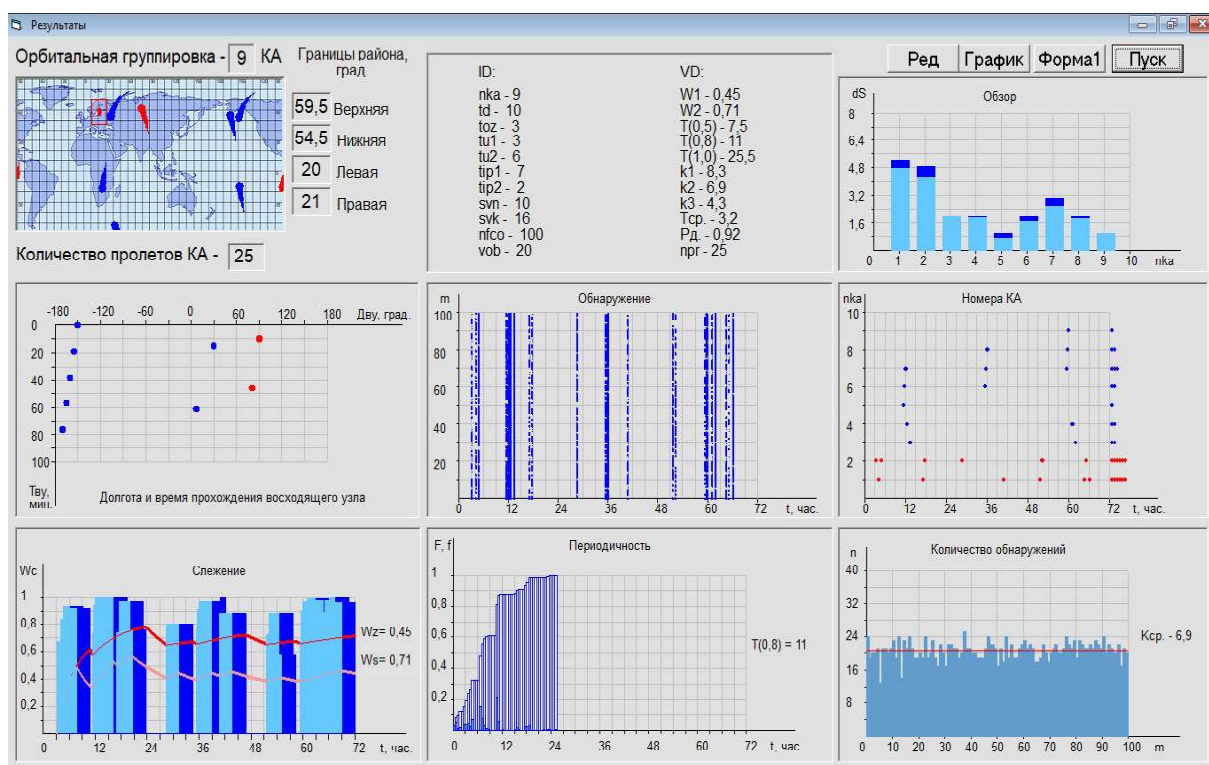


Рис. 5. Отображение получаемых результатов при оценке возможностей КС ДЗЗ по наблюдению за морскими судами в центральной части Балтийского моря (пролеты КА ОЭН над заданными районами в светлое время суток)

Указанное обстоятельство свидетельствует о необходимости дальнейших исследований и возможности обоснования выбора рациональных вариантов построения орбитальной группировки КА, обеспечивающих лучшие значения оцениваемых показателей.

Большое влияние на временную задержку при получении потребителями необходимой информации о морской обстановке по данным КА ДЗЗ оказывает время обработки информации на ППИ, которое составляет от 12 до 24 ч [2–4]. Поэтому суммарное время ожидания потребителями данных о морских перевозках может составить от 23 до 70 ч. Такая задержка существенно ухудшает оперативность контроля за судоходством в Балтийском море и на маршруте «Усть-Луга – Балтийск».

В ближайшие годы планируется нарастить орбитальную группировку отечественных КА ДЗЗ, способных фиксировать местоположение морских судов с разрешающей способностью не хуже 5-10 м в полтора–два раза. Предварительные расчеты показали, что это позволит улучшить периодичность и количество обнаружений на $\approx 50\text{--}70\%$. При этом также повысятся значения вероятностей слежения за морскими объектами.

В то же время даже при таком составе ОГ КА ДЗЗ решение задач контроля морских перевозок с допустимым временем устаревания информации 1–2 ч, позволяющем оперативно осуществлять контроль и управление морскими судами, невозможно.

Очевидно, что для достижения высокой оперативности наблюдения за морскими судами в Балтийском море отечественными КС ДЗЗ необходимо наращивание орбитальной группировки КА ДЗЗ (создание многоспутниковых систем), создание и оснащение ППИ комплексами оперативной обработки радиолокационной и оптико-электронной информации, поступающей от КА ДЗЗ, сокращение времени обработки поступающей от КА информации на ППИ до нескольких минут, создание отечественных КС радиоэлектронного наблюдения за морской обстановкой с КА на средних, высокоэллиптических и геостационарных орбитах и др.

Предварительные исследования, проведенные с помощью имитационного моделирования, показали, что для достижения требуемой оперативности контроля судоходства в Балтийском море необходима орбитальная группировка из 24–48 КА РЛН с полосой обзора (захвата) 100–200 км.

Анализ полученных результатов моделирования и оценки возможностей КС ДЗЗ показал, что в этом случае периодичность наблюдения морских судов в районе составит 1,5 часа с вероятностью не ниже 0,8. Передача информации о зафиксированной морской обстановке на ППИ и ее обработка в реальном масштабе времени (с задержкой не более нескольких минут) позволит соответствующим органам управления оперативно осуществлять контроль судоходства в регионе.

Следует отметить, что полученные оценки носят предварительный характер. Для повышения достоверности получаемых оценок целесообразно продолжить исследования в данной области.

Выводы

1. Выявлена необходимость создания системы наблюдения за морской обстановкой в Балтийском море с целью контроля и оперативного реагирования на ее изменения в интересах обеспечения безопасного плавания судов.

2. Важными элементами этой системы могут быть отечественные космические системы дистанционного зондирования Земли, способные решать задачи наблюдения за морскими перевозками в Финском заливе, центральной части Балтийского моря и по маршруту «Усть-Луга – Балтийск».

3. Выполненное имитационное моделирование и оценка возможностей отечественных КС ДЗЗ показали, что при существующем составе орбитальных группировок КА суммарное время ожидания потребителями данных о морских перевозках может составить от 23 до 70 ч.

4. Для решения задачи оперативного (с периодичностью 1–2 часа) контроля судоходства в районах Балтийского моря и по маршруту «Усть-Луга – Балтийск» необходимо наращивание орбитальной группировки до 24-48 КА радиолокационного наблюдения с полосой обзора (захвата) 100-200 км. Передача информации о зафиксированной морской обстановке на ППИ и ее обработка в реальном масштабе времени позволит соответствующим органам управления оперативно осуществлять контроль морских перевозок в регионе.

Литература

1. Грузоперевозки по железной дороге снизились на 60,3 % за четыре года, по морю – выросли в 4 раза. Электронный ресурс. – URL: <https://rugrad.online/news/1457622/> (дата обращения: 12.05.2026).
2. Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос» Акционерное общество «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения». Руководство пользователя данными дистанционного зондирования Земли, получаемыми космической системой «Кондор-ФКА». 2023. -URL: <https://www.roscosmos.ru/media/files/2023/2023.02.17.rukovodstvo.pol.zovatela.kondor-fka.dla.saita.pdf> (дата обращения: 12.05.2026).
3. Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос». Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс». Руководство пользователя данными дистанционного зондирования Земли, получаемыми с космической системы «Ресурс-П». 2023. -URL: <https://www.roscosmos.ru/media/files/2024/rukovodstvo.pol.zovatela.dannimi.dzz.polucaemimi.s.ks.resurs-p.pdf> (дата обращения: 12.05.2026).
4. Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос». Акционерное общество «Корпорация «ВНИИЭМ». Руководство пользователя данными дистанционного зондирования Земли, получаемыми космической системой «Канопус-В». 2023. -URL: <https://www.roscosmos.ru/media/files/2024/March/rukovodstvo.k-v.dla.saita.pdf> (дата обращения: 12.05.2026).
5. Толково-энциклопедический словарь. СПб. «Норинт». 2006.
6. **Занин К.А., Клименко Н.Н.** Возможности космических систем радиолокационного наблюдения по периодичности наблюдения объектов и районов // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 4. С. 88-99.
7. **Купряшкин И.Ф., Лихачев В.П.** Космическая радиолокационная съемка земной поверхности в условиях помех. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2014.
8. **Иванушкин М.А., Ткаченко И.С.** Оценка эффективности многоспутниковых космических систем дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 4. С.101–110.
9. Павлов М.В., Теремов М.П.. Оценивание эффективности функционирования космической системы «ICEYE» // Ракетно-космическая техника. 2024 Т. 8. № 3 (49). С.137-144.
10. **Boshuizen C. R., Mason J., Klupar P., Spanhake S.** Results from the Planet Labs Flock Constellation // Proc. 28th Annual AIAA/USU Conf. Small Satellites. 2014. SSC14-I-1.
11. **Гуляков В.В., Калинов М.И., Родионов В.А., Торгашов А.А.** Опыт разработки и применения имитационно-моделирующего комплекса информационных космических систем в научных исследованиях. Труды 18-й Всероссийской научно-практической конференции. Том 4. СПб.: НПО Спецматериалов. 2015. С. 131-137.