

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СИГНАЛОВ ПОДСВЕТА  
ДЛЯ ПАССИВНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ****Нгуен Ван Куан, М.А.Маркелова, В.И.Веремьев****ON THE SATELLITE SYSTEMS SIGNALS AS SOURCES OF ILLUMINATION  
FOR THE BISTATIC RADAR SYSTEM****Nguyen Van Quan, M.A.Markelova, V.I.Veremyev***Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», [quanvnhath@gmail.com](mailto:quanvnhath@gmail.com)*

Морские акватории исторически являются для человечества одними из основных объектов интереса в мире. С экономической точки зрения море становится лидером в стратегиях развития стран с морскими ресурсами. Для обеспечения управления судоходством, безопасности плавания судов и защиты прибрежных государственных территорий необходимо наличие информационной оперативной системы освещения морской обстановки. Одной из технологий морского мониторинга, которая в настоящее время используется многими странами, является радиолокация, в том числе пассивная когерентная, использующая в качестве подсвета сигналы различных сторонних источников, например, FM, DVB-T, DVB-T2. В данной статье проведена оценка эффективности мониторинга объектов в прибрежных морских районах на основе принципов пассивной когерентной радиолокации с использованием сигналов различных спутниковых систем в интересах создания информационной подсистемы мониторинга движения судов.

**Ключевые слова:** *пассивная когерентная локация, многопозиционная РЛС, спутниковая система, мониторинг морской поверхности, DVB-T, DVB-S*

Over the last decades marine areas have become one of the main objects of interest in the world. From an economic point of view, the sea is becoming a leader in the development strategies of countries with marine resources. To ensure management, safety of actions in marine areas and the protection of state territories, an information system for lighting the operational marine situation is necessary. One of the marine monitoring technologies that is currently being used by many countries is radar, including passive radar based on various backlight signals, for example, FM, DVB-T, DVB-T2. This article assesses the possibility of monitoring objects in coastal marine areas based on the principles of passive radar using various signals from satellite systems in the interest of creating an information subsystem for monitoring ship traffic.

**Keywords:** *passive coherent radar, multistatic radars, satellite system, sea surface monitoring, DVB-T, DVB-S*

В настоящее время для добычи морских ресурсов и проведения повседневной деятельности в морских районах многих стран работают разные типы судов. Они различаются по размеру и особенностям перемещения в зависимости от их предназначения и сферы деятельности, при этом наибольшая активность судоходства проявляется в прибрежных районах. За последние десятилетия число судов значительно выросло, особенно в классе малых и средних прибрежных рыболовных судов. Среди них лишь малая часть оснащена системами связи, системами спутниковой навигации, системами автономной идентификации (АИС) и морской радиолокации. Помимо рыбного промысла во многих странах наблюдается активная деятельность в прибрежных зонах, начиная от круизов и заканчивая такой противоправной практикой, как контрабанда и терроризм. Следовательно, контроль навигации в прибрежной зоне является важной и актуальной задачей, особенно для государств с протяженной морской границей. В связи с этими актуализируются вопросы безопасности судоходства и его информационного обеспечения, особенно в прибрежных районах.

Решение задачи обеспечения безопасности всех морских районов и наблюдения за деятельностью судов связано с вопросами создания соответствующих систем непрерывного мониторинга прибрежных районов, что также играет важную роль при

проведении спасательных операций и в процессе обеспечения охраны территории государства.

Безопасность перемещения судов и защита портов, береговых линий имеет первостепенное значение для любой страны с морским берегом. Система АИС служит для идентификации судов и обеспечения подробной информации о габаритах, курсе и других данных с помощью радиоволн. Также она предназначена для повышения уровня безопасности судоходства. Система АИС имеет большую дальность (25-30 морских миль) действия и может обнаруживать малые суда. На рис.1 показана морская обстановка в районе Финского залива 14 июня 2019 г. [1]. Но, как уже было сказано выше, не все суда оснащены системами АИС, что приводит к затруднениям при наблюдениях за действиями всех объектов в прибрежных районах.

Применение и совершенствование радиолокационной технологии для мониторинга морской поверхности районов интенсивного судоходства является актуальным вопросом. На современном этапе информационное обеспечение морской деятельности невозможно без применения приборов дистанционной диагностики, установленных на космических системах различного целевого назначения. Существенно возрастает роль космических систем мониторинга морской поверхности, применяемых для контроля параметров и состояния морских объектов на

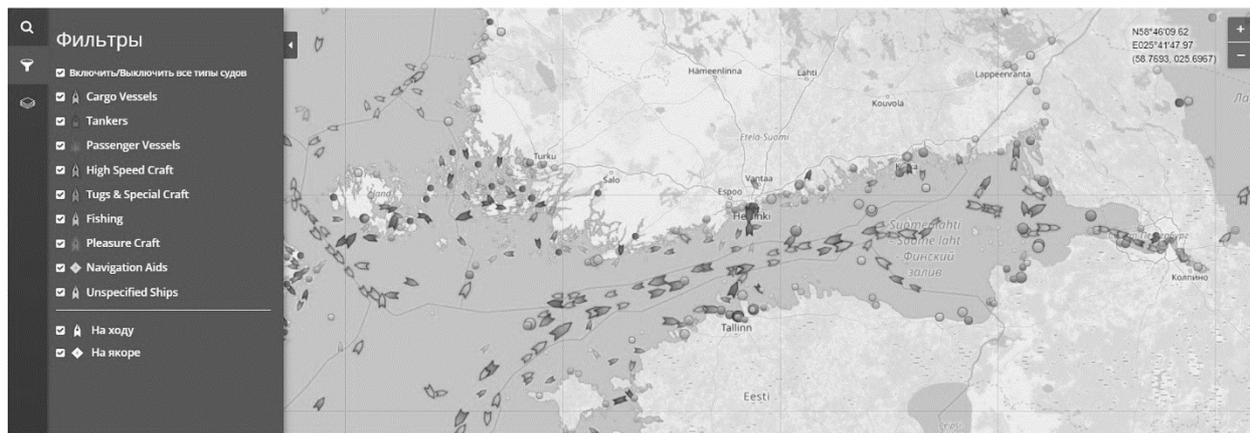


Рис.1. Отображение морской обстановки с использованием АИС

блюдения (морских судов, кораблей, буровых вышек, скопления льда и т.п.) независимо от их местонахождения, погоды и времени суток в глобальном масштабе с высокой оперативностью и требуемой периодичностью (рис.2) [2].

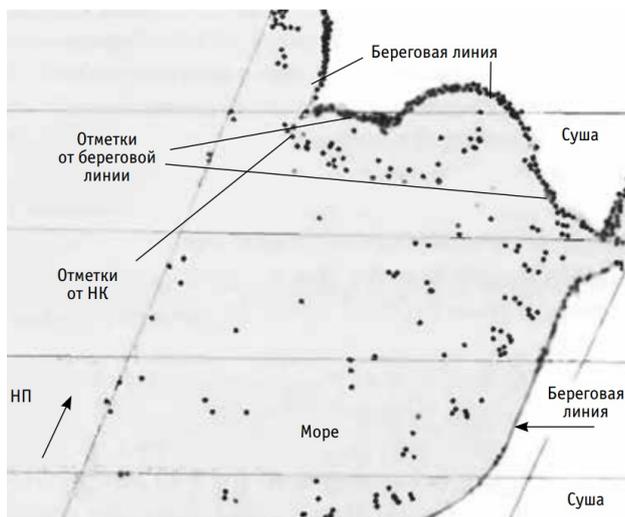


Рис.2. Отображение надводной обстановки, зафиксированной РЛС космического аппарата радиолокационной разведки (НП — направление полета космического аппарата)

Спутниковые системы дистанционного зондирования Земли могут быть разделены по типу спутников: геостационарные и полярно-орбитальные. Геостационарные спутники обеспечивают обзор одной и той же части планеты, сохраняя неизменное положение относительно определенной точки на экваторе. А полярно-орбитальные спутники находятся на орбите, плоскость которой примерно перпендикулярна плоскости вращения Земли. Через определенный период времени, продолжительность которого зависит от ширины полосы обзора спутника, он оказывается над заданным районом наблюдения. Эффективность применения космических систем зависит от обоснованности характеристик бортовых специальных комплексов, количественного состава и структуры орбитальных группировок. Для выполнения прогноза результатов их использования разработаны различные технические и программные средства, в част-

ности, действующий в течение последних двадцати лет имитационно-моделирующий комплекс информационных космических систем [3].

На борту космических систем дистанционного зондирования Земли находятся радиолокационные системы (РЛС) с синтезированием апертуры, непрерывно излучающие сигналы подсвета достаточно высокой мощности в направлении Земли. Данный тип систем был реализован на нескольких навигационных искусственных спутниках Земли, вращающихся по независимым орбитам высотой 1000 км. Задачи мониторинга морской поверхности успешно решались с помощью советской космической системы «Океан» [4].

В процессе развития технологии с помощью спутников RADARSAT-2, TerraSAR-X и ASAR Envisat обеспечивается высокое пространственное разрешение (вплоть до 3 м) при наблюдениях Мирового океана [5]. В частности, они обеспечивают:

- возможность круглосуточной работы благодаря использованию активного зондирования, причём характеристики изображения от времени суток не зависят;

- возможность всепогодной съёмки, т.к. атмосфера практически прозрачна для используемого радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) микроволнового диапазона;

- обзор больших акваторий независимо от времени суток и облачного покрытия с высоким пространственным разрешением (до 3 м) в относительно широкой полосе обзора.

С другой стороны, использование космических аппаратов (КА) для мониторинга морской поверхности имеет ряд недостатков. Особенности работы радиолокации на КА не позволяют в полной мере получить полную информацию о морских объектах, отображаются только данные об их местонахождении и приблизительных размерах. Особенно важным является высокая стоимость таких систем, поэтому не все страны мира могут использовать такие системы, равно как и пользоваться результатом их работы.

На современном этапе развития науки и технологий для наблюдения районов интенсивного судоходства предполагается создание многопозиционных радиолокационных систем (МПРЛС) с использовани-

ем сигналов от различных источников. В качестве сигналов подсвета, используемых в полуактивной радиолокации, рассматриваются следующие типы сигналов: FM, DAB, DVB-T, DVB-T2 [6-8]. FM сигнал имеет низкую разрешающую способность, большой уровень боковых лепестков функции неопределенности (ФН), а также зависимость ее свойств от контента, что не позволяет получать характеристики обнаружения и оценки пространственных координат целей достаточного для потребителя качества. Цифровые сигналы наземного вещания стандартов DVB-T (телевидение) и DAB (радио) близки к шумоподобным, поэтому они имеют близкий к прямоугольному спектр, обеспечивают более низкий по сравнению с аналоговыми сигналами уровень боковых лепестков ФН и позволяет обеспечить определение координат с достаточно высокой точностью. В СПбГЭТУ «ЛЭТИ» созданы опытные образцы пассивного когерентного лоатора (ПКЛ) с использованием сигнала DVB-T2 в качестве подсвета [6], на которых проведены экспериментальные исследования с воздушными и надводными целями различных типов. Результаты показали, что применение сигнала DVB-T2 может эффективно использоваться для наблюдения судоходства в акваториях прибрежных районов. Однако недостаток таких систем заключается в том, что вблизи района наблюдения необходимо наличие передатчика (в данном случае цифрового ТВ), излучающего сигнал подсвета, что существенно ограничивает район их применения. Таким образом, вопрос выбора типа сигнала подсвета в системе ПКЛ для освещения судоходной обстановки, остается актуальным. В связи с этим, можно предположить, что использование спутниковых систем в качестве передатчика сигнала подсвета может быть весьма привлекательным из-за основных преимуществ, заключающихся в глобальном охвате (даже в открытом море) и доступности нескольких источников подсвета одновременно [9].

Сегодня существуют системы спутникового телевидения DVB-S, DVB-S2 и глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou). В радиовещании через спутниковые сети обычно используются два стандарта протокола: DVB-S и DVB-RCS. Стандарт телевизионного вещания второго поколения (DVB-S2) был утвержден в 2004 г. Согласно результатам сравнения, приведенным Comtech EF Data [10], при переходе с DVB-S на DVB-S2 в 2009 г. обеспечивается фундаментальное изменение как на физическом уровне, так и на уровне доступа, позволяющее улучшить пропускную способность во всех существующих системах.

Сигнал DVB-S имеет полосу пропускания 32 МГц и центральную частоту между 10,7 ГГц и 12,75 ГГц. Следовательно, разрешающая способность по дальности  $\Delta R_{DVB-S} = 4,9$  м, что значительно лучше, чем у DVB-T ( $\Delta R_{DVB-T} = 20$  м). DVB-S, в отличие от стандарта DVB-T, имеет очень плотное покрытие практически во всех населенных районах Земли, а также плотность энергии его сигнала существенно не изменяется для разных высот в атмосфере [11].

Глобальная навигационная спутниковая система на данном этапе включает следующие системы: GPS, GLONASS, Galileo, Beidou. Существуют и региональные навигационные спутниковые системы, например, в Японии, Индии. Полоса пропускания ГНСС составляет примерно 20 МГц [12], она позволяет точно определять координаты объектов. ГНСС обычно работает в L-диапазоне. Использование сигналов спутниковых систем для мониторинга морской поверхности будет способствовать снижению затрат на создание и поддержание систем дистанционного зондирования, использующих принципы многопозиционной радиолокации. Применение сигналов спутниковых систем является огромным преимуществом для контролирования перемещения всех типов судов в акваториях. Отметим ряд преимуществ:

- спутниковая система работает непрерывно и слабо зависит от погодных условий;
- количество спутников достаточно велико, чтобы наблюдать определенное место в течение необходимого периода времени;
- сигналы в спутниковой системе разнообразны и доступны для гражданского использования;
- стоимость создания комплекса ниже, чем при использовании активной радиолокационной системы.

Создание пассивных бистатических радиолокационных систем, а также мультистатических радиолокационных систем мониторинга прибрежных районов с использованием радиолокационных спутниковых сигналов в качестве подсвета для обеспечения безопасности навигации в акваториях, обороны территориального суверенитета страны является важной задачей в настоящее время [13]. Сигналы спутниковой системы могут быть использованы в качестве подсвета в бистатической ПКЛ наблюдения за судоходством в прибрежных районах. Приемная позиция находится на берегу и включает в себя 2 антенны: одна принимает прямой сигнал от передатчика (спутниковой системы) — прямой канал, а другая антенна принимает отраженный сигнал от объекта наблюдения — отраженный канал. Идея такой радиолокационной системы изображена на рис.3 [14].

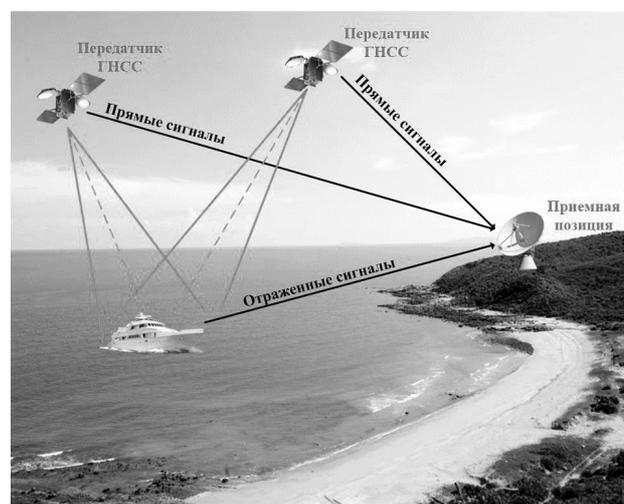


Рис.3. Радиолокационное наблюдение в прибрежных районах на основе использования для подсвета ГНСС сигнала

Известно, что спутники навигационных систем находятся на орбитах 2000 км и выше. Из-за этого уровень сигнала на земной поверхности очень слабый и составляет от -150 дБВт до -170 дБВт. Одним из способов увеличения мощности принимаемого сигнала может быть объединение сигналов от нескольких спутников, что также способствует подавлению помех за счет пространственного и частотного разнесения. В соответствии с основным уравнением радиолокации, мощность отраженного от цели сигнала без учета помех и поглощения в бистатической ПКЛ вычисляется по формуле:

$$P_r = \frac{P_t G_t F_t^2(\varphi_t, \varepsilon_t) V_t^2 \sigma_b}{4\pi R_t^2} \frac{G_r \lambda^2 F_r^2(\varphi_r, \varepsilon_r)}{4\pi R_r^2}, \quad (*)$$

где  $P_r$  — мощность принимаемого сигнала;  $P_t$  — мощность передатчика;  $G_t$  — коэффициент усиления передающей антенны;  $F_t(\varphi_t, \varepsilon_t)$  — характеристика направленности передающей антенны по направленности поля в функции азимута  $\varphi_t$  и угла места  $\varepsilon_t$ ;  $V_t$  — модуль множителя ослабления для пары «передатчик – цель»;  $\sigma_b$  — бистатическая ЭПР цели;  $V_r$  — модуль множителя ослабления для пары «цель — приёмная позиция»;  $R_t$  — расстояние между передатчиком и целью;  $R_r$  — расстояние между целью и приёмной позицией;  $G_r$  — коэффициент усиления приёмной антенны;  $\lambda$  — длина волны сигнала;  $F_r(\varphi_r, \varepsilon_r)$  — характери-

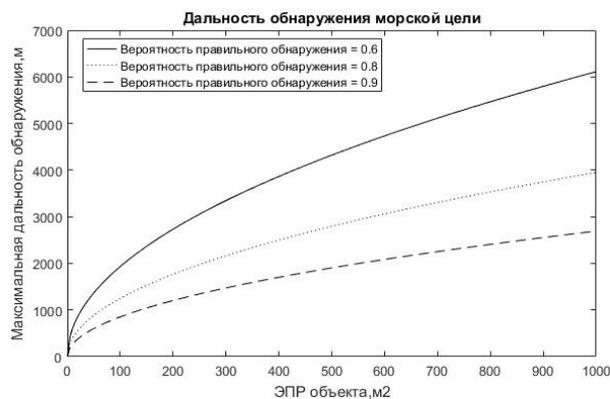
стика направленности приёмной антенны по направленности поля в функции азимута  $\varphi_r$  и угла места  $\varepsilon_r$ .

С целью исследования эффективности использования сигнала спутниковых систем в качестве сигнала подсвета систем бистатической ПКЛ для контроля судоходства в прибрежных районах проведем оценку дальности обнаружения надводных целей с использованием различных типов спутниковых сигналов — DVB-S2, ГНСС (GPS, GLONASS, Galileo).

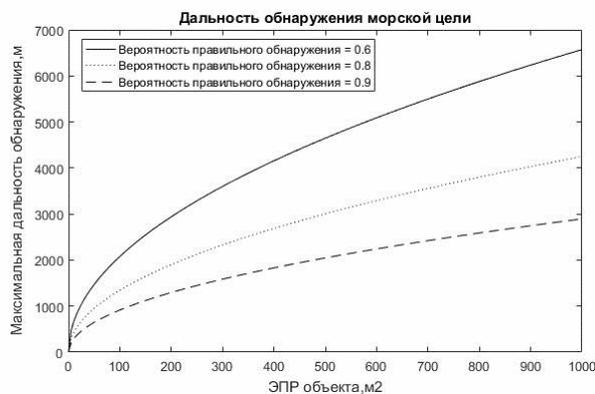
В таблице приведены средние значения ЭПР некоторых надводных объектов [15].

Средние значения ЭПР надводных целей

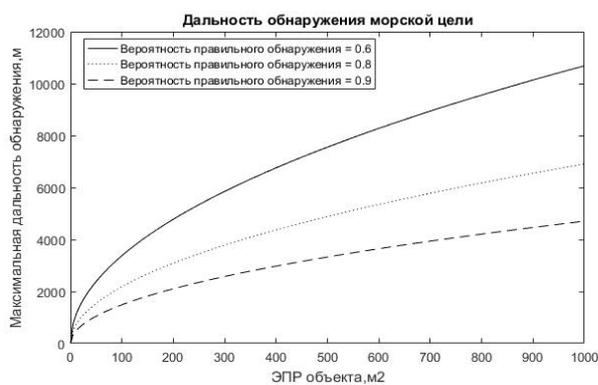
№	Вид надводной цели	Величина ЭПР, м <sup>2</sup>
1	Плывущий человек	0,02...0,05
2	Вежа	0,8
3	Буй	3
4	Шлюпка, спасательная лодка	1...5
5	Буй с радиолокационным отражателем	10
6	Малый катер	50
7	Малая подводная лодка в надводном положении	140
8	Малое судно (водоизмещение до 200 т)	150
9	Траулер	750
10	Средний корабль (водоизмещение 1000-10000 тонн)	7500
11	Большой корабль (водоизмещение более 10000 тонн)	>10000



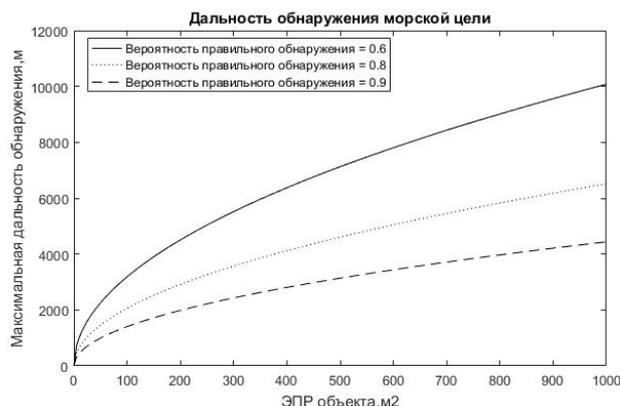
а)



б)



в)



г)

Рис.4. Оценка дальности обнаружения надводных целей с использованием сигналов подсвета различных спутниковых систем: а) сигнал L1 GPS; б) сигнал L1 GLONASS; в) сигнал E5(a,b) Galileo; г) сигнал DVB-S2

Из таблицы видно, что большинство надводных объектов, выполняющих различные задачи в акваториях, имеют ЭПР в широком диапазоне от 0,02 до 1000 м<sup>2</sup>. Для этих диапазонов ЭПР проведены расчеты дальности обнаружения надводных целей с использованием различных типов сигналов спутниковых систем. На рис.4 приведены результаты расчета дальности обнаружения надводных целей с использованием сигналов ГНСС GPS, GLONASS, Galileo и системы спутникового телевидения DVB-S2, где сплошная линия соответствует значению вероятности правильного обнаружения  $D_1=0,6$ , пунктирная линия — вероятности правильного обнаружения  $D_2=0,8$  и штриховая линия — вероятности правильного обнаружения  $D_3=0,9$ .

Расчеты достижимой дальности обнаружения были выполнены в соответствии с (\*) для условий, не учитывающих ослабление сигнала при распространении ( $V_t, V_r=1$ ) при характеристиках направленности антенн по направленности поля  $F_t(\varphi_t, \varepsilon_t), F_r(\varphi_r, \varepsilon_r) = 1$ . Чтобы обнаружить сигнал, отраженный от цели с заданными вероятностными требованиями, его мощность должна быть больше мощности шума приёмника минимум в  $q$  раз, где  $q$  — требуемое среднее отношение сигнала/шум (ОСШ):

$$q=2\left(\frac{\lg F}{\lg D}-1\right),$$

где  $F$  — заданная условная вероятность ложной тревоги;  $D$  — требуемая условная вероятность правильного обнаружения.

Расчеты были проведены для следующих частот рассмотренных выше спутниковых систем:  $f_{L1-GPS}=1575,42$  МГц;  $f_{L1-Glonass}=1602,5625$  МГц;  $f_{E5(a,b)-Galileo}=1191,79$  МГц;  $f_{DVB-S2}=10872$ . Предполагалось, что приёмное устройство является стационарным и имеет следующие характеристики: коэффициент усиления  $G_r=1000$  (30 дБ); коэффициент шума  $k_n=5$ ; ширина полосы пропускания  $\Delta f=1$  Гц, что соответствует времени когерентного накопления сигнала  $T_a=1$  с.

На рис.4 для заданной условной вероятности ложной тревоги  $F=0,001$  представлены несколько случаев с разными значениями условной вероятности правильного обнаружения:  $D_1=0,6, D_2=0,8, D_3=0,9$ . С увеличением значения ЭПР цели дальность обнаружения надводных целей увеличивается. Расчеты показали, что для различных типов сигнала подсвета

передатчика дальность обнаружения надводных целей составляют: для сигнала GPS — до 6,5 км, GLONASS — примерно 6 км, Galileo — примерно 10,5 км, DVB-S2 — до 10 км (для значения условной вероятности правильного обнаружения  $D_1=0,6$ ).

Результаты расчета дальности обнаружения надводных целей показывают возможность эффективного применения системы бистатической ПКЛ с использованием сигналов различных спутниковых система в качестве подсвета для мониторинга прибрежных районов интенсивного судоходства, дальность обнаружения при этом составляет 7-10 км. Также следует отметить, что в системе бистатической ПКЛ не существует передающего устройства, что дает следующие преимущества: увеличение степени скрытности, экологичность и безвредность для человека и окружающей среды. Поскольку в системе бистатической ПКЛ не требуется наличие передатчика сигнала, она работает с низким уровнем энергопотребления, что определяет и ее меньшую стоимость в сравнении с активными РЛС.

Рядом исследователей были проведены эксперименты по возможности использования пассивного радиолокационного метода с использованием сигналов ГНСС для мониторинга морской поверхности [9,13,14]. Один из таких экспериментов был проведен на восточном побережье гавани Плимута в Великобритании [9]. В эксперименте в качестве сигнала подсвета системы бистатической ПКЛ использовался сигнал Galileo E5. На рис.5 приведена общая схема экспериментальных исследований работы системы наблюдения бистатической ПКЛ на основе сигналов E5 ГНСС Galileo.

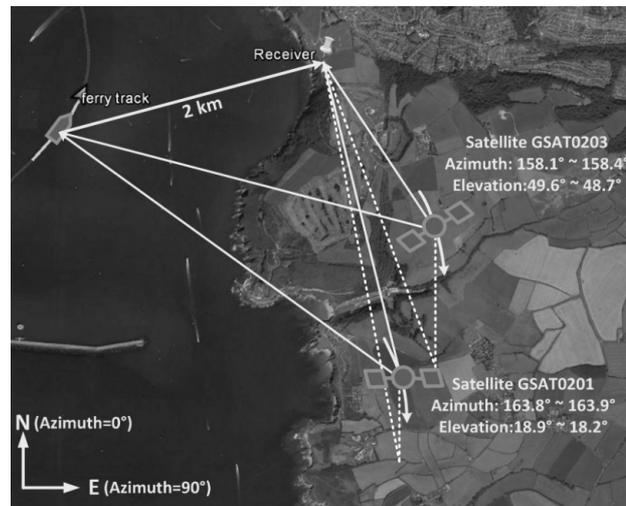


Рис.5. Схема экспериментальных исследований работы системы бистатической ПКЛ в прибрежных районах морской поверхности на основе сигналов ГНСС [9]

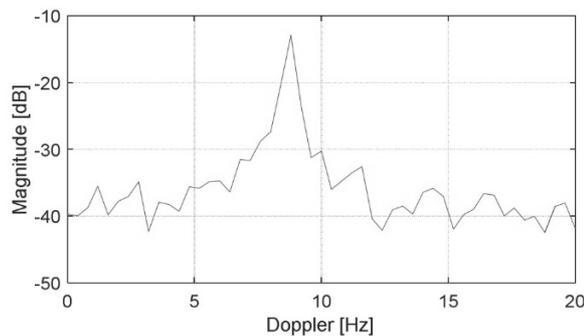
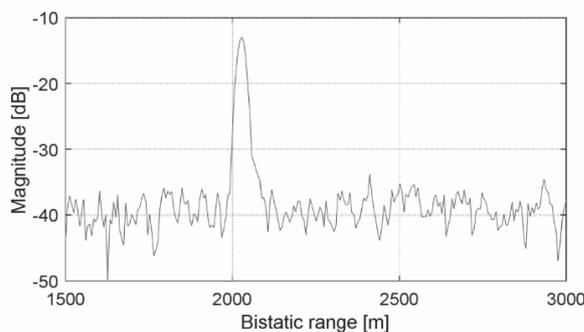


Рис.6. Уровень сигнала ГНСС в приёмном устройстве системы бистатической ПКЛ и его спектральная характеристика

Уровень отраженного сигнала E5 GNSS Galileo в приёмном устройстве системы бистатической ПКЛ от корабля, движущегося на расстоянии 2 км от побережья, достаточен для его обнаружения и оценки динамических параметров движения (см. рис.6).

В результате проведенного анализа можно отметить, что построение пассивной когерентной радиолокационной системы мониторинга судоходства в прибрежных районах возможно с использованием сигналов спутниковых систем в качестве источников подсвета. На следующем этапе будет предложена структурная схема приёмного устройства, а также алгоритм обработки сигнала, отраженного от объекта в исследуемой системе.

*При подготовке публикации использовались результаты работ по проекту «Разработка многопозиционного комплекса полуактивной радиолокации и радиомониторинга излучающих и радиомолчащих объектов» (Соглашение от 21 ноября 2018 г. №075-11-2018-035) с использованием мер государственной поддержки, предусмотренных постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. №218.*

1. AIS карта судов. Поиск судна в реальном времени по АИС [Эл. ресурс]. URL: <https://seatracker.ru/ais.php> (дата обращения: 14.06.2019).
2. Анцев Г.В., Гуляков В.В., Калинов М.И., Родионов В.А. Опыт и перспективы применения отечественных космических систем радиолокационного и радиоэлектронного мониторинга морской поверхности // Морские информационно-управляющие системы. 2018. №13. С.8-17.
3. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. 270 с.
4. Мищенко В.Н. Системы спутниковой навигации: учебно-методическое пособие. Минск: БГУИР, 2011. 56 с.
5. Малинников В.А., Стеценко А.Ф., Алтынов А.Е., Попов С.М. Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Изд-во МИИГАиК, 2008. 145 с.
6. Бархатов А.В., Веремьев В.И., Воробьев Е.Н. и др. Пассивная когерентная радиолокация. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 164 с.
7. Joshua L.S., Francois D.V.M. Detection State Refinement in FM Multistatic Passive Radar // 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf). 2017. P.717-721.
8. Conti M., Moscardini C., Capria A. Dual-polarization DVB-T Passive Radar Experimental Results // 2016 IEEE Radar Conference (RadarConf). 2016. P.1-5.
9. Hui M., Michail A., Cherniakov V. et al. Maritime target detection using GNSS-based radar: Experimental proof of concept // 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf). 2017. P.464-469.
10. Muhammad Y. Khan, Muhammad Ali. Bandwidth and power comparison for C/Ku band satellite networks // Journal of space technology. 2015. Vol.5. №1. P.22-27.
11. Stefan B., Matteo M., Viktor S., Christoph S. Passive Radar Imaging Using DVB-S2 // 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf). 2017. P.552-556.
12. Michail A., Michail C. GNSS-based bistatic SAR: a signal processing view // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2013. 2013. 16 p.

13. Hui M., Michail A., Andrew G. S. Maritime moving target localization using passive GNSS-based multi-static radar // 2018 IEEE transactions on geoscience and remote sensing. 2018. Vol.56. №8. P.4808-4819.
14. Perialice F., Pastina D., Santi F., Bucciarelli M. Multi-transmitter ship target detection technique with GNSS based passive radar // International Conference on Radar Systems (Radar 2017). 2017. P.1-6.
15. Дуров А.А., Кан В.С., Ничипоренко Н.Т., Устинов Ю.М. Судовая радиолокация. Судовые радиолокационные системы и САПИ: учебник для вузов. Изд. 2-е. П.-Камчатский: КамчатГТУ, 2005. 280 с.

#### References

1. AIS karta sudov. Poisk sudna v real'nom vremeni po AIS [AIS ship chart. AIS live ship tracking]. Available at: <https://seatracker.ru/ais.php> (accessed: 14.06.2019).
2. Antsev G.V., Gulyakov V.V., Kalinov M.I., Rodionov V.A. Opyt i perspektivy primeneniya otechestvennykh kosmicheskikh sistem radiolokatsionnogo i radioelektronno monitoringa morskoy poverkhnosti [Experience and perspectives for using domestic space systems for radar and electronic monitoring of the sea surface]. Morskiye informatsionno-upravlyayushchiye sistemy, 2018, no. 13, pp. 8-17.
3. Solov'yev Yu.A. Sistemy sputnikovoy navigatsii [Satellite navigation systems]. Moscow, Eko-Trendz Publ., 2000, 270 p.
4. Mishchenko V.N. Sistemy sputnikovoy navigatsii: uchebno-metodicheskoye posobiye [Study guide for satellite navigation systems]. Minsk, BGUIR Publ., 2011, 56 p.
5. Malinnikov V.A., Stetsenko A.F., Altynov A.E., Popov S.M. Monitoring prirodnoy sredy aerokosmicheskimi sredstvami: ucheb. posobiye dlya studentov vuzov [Aerospace monitoring of the natural environment: textbook for university students]. Moscow, MIIGAiK Publ., 2008, 145 p.
6. Barkhatov A.V., Verem'yev V.I., Vorob'yev E.N., Konovalov A.A., Mikhaylov V.N. i dr. Passivnaya kogerentnaya radiolokatsiya [Passive coherent radio detection]. Saint Petersburg, SPbGETU "LETI" Publ., 2016, 164 p.
7. Joshua L. S., Francois D. V. M. Detection State Refinement in FM Multistatic Passive Radar. 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf). 2017, pp. 717-721.
8. Conti M., Moscardini C., Capria A. Dual-polarization DVB-T Passive Radar Experimental Results. 2016 IEEE Radar Conference (RadarConf), 2016, pp. 1-5.
9. Hui M., Michail A., Cherniakov V., Pastina D., Santi F., Perialice F., Bucciarelli V. Maritime target detection using GNSS-based radar: Experimental proof of concept. 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf). 2017, pp. 464-469.
10. Muhammad Y. Khan, Muhammad Ali. Bandwidth and power comparison for C/Ku band satellite networks. Journal of space technology, 2015, vol. 5, no. 1, pp. 22-27.
11. Stefan B., Matteo M., Viktor S., Christoph S. Passive Radar Imaging Using DVB-S2. 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf). 2017, pp. 552-556.
12. Antoniou M., Cherniakov M. GNSS-based bistatic SAR: a signal processing view. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2013. 2013, 16 p.
13. Hui M., Michail A., Andrew G. S. Maritime moving target localization using passive GNSS-based multi-static radar. 2018 IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 2018, vol.56, no.8, pp. 4808-4819.
14. Perialice F., Pastina D., Santi F., Bucciarelli M. Multi-transmitter ship target detection technique with GNSS based passive radar. International Conference on Radar Systems (Radar 2017), 2017, pp. 1-6.
15. Durov A.A., Kan V.S., Nichiporenko N.T., Ustinov Yu.M. Sudovaya radiolokatsiya. Sudovyye radiolokatsionnyye sistemy i SARP: uchebnik dlya vuzov [Ship radar. Shipborne radar systems and ARPA: a textbook for universities]. Petropavlovsk-Kamchatsky, GTU, Publ., 2005, 280 p.