

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ,  
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ.  
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

УДК 347.799.63 EDN QZWULG

**Возможности использования спутниковых данных АИС  
для комплексного мониторинга судовой обстановки  
на примере рыбопромыслового флота**

**С. В. Трусов**, к. т. н., [sv\\_trusov@spacecorp.ru](mailto:sv_trusov@spacecorp.ru)

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**О. И. Барабоскин**, [oi\\_baraboshkin@spacecorp.ru](mailto:oi_baraboshkin@spacecorp.ru)

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**С. А. Бобровский**, [sa\\_bobrovsky@spacecorp.ru](mailto:sa_bobrovsky@spacecorp.ru)

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**С. В. Матвеев**, к. т. н., [sv\\_matveev@spacecorp.ru](mailto:sv_matveev@spacecorp.ru)

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Автоматическая идентификационная система (АИС), устанавливаемая на всех крупных судах и многих некрупных, изначально предназначалась для предотвращения столкновений судов. В настоящее время сигналы этой системы активно используются наземным и спутниковым оборудованием для отслеживания местонахождения судов в мировом океане. Постоянный поток наземных и спутниковых данных АИС позволяет сформировать непрерывную историю перемещения судов по земному шару. Зная назначение (тип) судна, можно на основе его расположения и характера его движения детектировать различные виды деятельности.

В рамках мониторинга рыбопромысловой деятельности важными моментами для оценки деятельности судна являются: промысловая активность судна в определенном районе, сближение с другими судами (возможный перегруз улова/продукции), сокрытие своей деятельности путем отключения передатчика АИС, подмена передаваемого местоположения.

В работе обсуждаются особенности детектирования различных видов промысловой активности рыболовных судов, механизмы выявления аномального поведения, определение подмены местоположения судна на основе спутниковых данных АИС. Приведены результаты моделирования размещения приемников сигналов АИС на группировке спутников для непрерывного глобального мониторинга акваторий.

Моделирование показало, что при установке приемников АИС на КА перспективной группировки «Гонец-М1» получаемый объем данных позволит решать задачи автоматической идентификации промысловой деятельности судов.

**Ключевые слова:** АИС, AIS, мониторинг судоходства, детектирование промысловой активности, «Гонец-М1»

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ,  
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ.  
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

## Possibilities of Using AIS Satellite Data for Comprehensive Monitoring of the Vessel Activity through the Example of a Fishing Fleet

**S. V. Trusov**, *Cand. Sci. (Engineering)*, [sv\\_trusov@spacecorp.ru](mailto:sv_trusov@spacecorp.ru)  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**O. I. Baraboshkin**, [oi\\_baraboshkin@spacecorp.ru](mailto:oi_baraboshkin@spacecorp.ru)  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**S. A. Bobrovskiy**, [sa\\_bobrovsky@spacecorp.ru](mailto:sa_bobrovsky@spacecorp.ru)  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**S. V. Matveev**, *Cand. Sci. (Engineering)*, [sv\\_matveev@spacecorp.ru](mailto:sv_matveev@spacecorp.ru)  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The Automatic Identification System (AIS), installed on all large vessels and many smaller ones, was originally intended to prevent ship collisions. Currently, the signals of this system are actively used by ground-based and satellite equipment to track the location of ships in the world ocean. The continuous reception of terrestrial and satellite AIS data makes it possible to create an uninterrupted history of the vessel movements around the world. With known purpose (type) of a vessel, it is possible to detect various types of activity based on its location and the character of its movement.

As part of monitoring fishing activities, important points for assessing the activity of a vessel are: the fishing activity of the vessel in a certain area, approaching other vessels (possible transshipment of catch/products), concealing its activities by turning off the AIS transmitter, substituting the transmitted location.

The paper discusses the features of detecting various types of fishing activity of vessels, mechanisms for detecting anomalous behavior, and determining the substitution of a vessel's location based on AIS satellite data. The results of modeling the receiving of AIS signal on a constellation of satellites for continuous global monitoring of water areas are presented. Modeling has shown that when installing AIS receivers on the spacecraft of the planned Gonets-M1 constellation, the resulting volume of data will make it possible to solve the problems of automatic identification of fishing activities of vessels.

**Keywords:** AIS, shipping monitoring, fishing activity detection, Gonets-M1

## Общие принципы АИС

Внедрение автоматической идентификационной системы (АИС) на судах началось в конце XX века и проводилось для повышения безопасности мореплавания. По требованиям международной морской организации транспондерами АИС должны оборудоваться все суда водоизмещением свыше 300 регистровых тонн (р. т.), совершающие международные рейсы, суда свыше 500 р. т., не совершающие международные рейсы и все пассажирские суда, в связи с чем к середине 2000-х гг. сигналы АИС передавало большинство крупных судов [1]. Сообщения АИС могут содержать различные данные, но основными типами сообщений являются сообщения о местоположении судна и сообщения с описанием характеристик судна и его рейсовой информации. В силу открытости формата сигналы АИС, передаваемые в полосе ОВЧ морской подвижной службы, стали использовать для получения информации о расположении судов в акваториях не только государственные морские службы, но и частные лица и компании.

## Глобальный прием сигналов АИС

Следующим шагом в развитии наблюдений за судами стал прием сигналов АИС по всему земному шару — с 2005 г. в мире начались работы по приему сигналов АИС приемниками космического базирования [1]. Для облегчения приема сигналов АИС на орбите в очередной редакции рекомендаций МСЭ-R М.1371 [2] были представлены специальные сообщения типа 27 (короткий отчет о местоположении дальнего радиуса действия). С 2012 г. для этих сообщений системы АИС определены отдельные частотные каналы. В настоящее время функционируют многоспутниковые системы, функцией которых (или одной из функций) является мониторинг мирового судоходства по сигналам системы АИС [1, 3].

## Текущее состояние спутникового сегмента

Космический сегмент АИС в мире почти два десятилетия эволюционировал от первых экспериментов по приему сигналов АИС в космосе до созда-

ния многоспутниковых группировок. Только в период с 2005 по 2015 гг. было запущено более 50 спутников с приемниками АИС. В настоящее время на рынке спутникового АИС сформировалось несколько основных игроков, основными из которых являются Orbcomm и Spire Global (объединившийся в 2021 г. с крупнейшим оператором данных АИС ExactEarth). Особенность данных, предоставляемых этими компаниями, — быстрая доставка спутниковых данных до потребителя, которая исчисляется первыми минутами.

Orbcomm использует группировку Orbcomm-G2, основной задачей которой является связь М2М, для регистрации сигналов АИС. Из 17 номинальных аппаратов на орбите сейчас работают 16 и ретранслируют информацию на 16 наземных станций, расположенных по всему миру.

Компания Iridium Communications, разрабатывающая спутниковую систему Iridium NEXT из 66 аппаратов, выделила на спутниках свободное пространство для сторонней аппаратуры, и туда, помимо прочего, на 58 аппаратов были установлены приемники АИС (партнерство Harris Corp. и ExactEarth). Благодаря межспутниковой связи, собираемые данные практически моментально попадают в наземные сервисы.

Компания Spire Global в 2014 г. запустила первый спутник нанокласса Lemur с приемником АИС на борту. За последующие 8 лет она довела группировку до 155 аппаратов. Все спутники находятся на орбитах до 650 км, большинство имеют солнечно-синхронную орбиту, остальные имеют наклонные орбиты 83°–85°, 52°, 37°, 0°. Наземный сегмент Spire включает 30 приемных станций по всему миру.

Компания Head Aerospace создает группировку SkyWalker из 48 аппаратов, на которых среди прочей полезной нагрузки будут приемники сигналов АИС.

## Использование сигналов АИС для мониторинга рыболовства

Основной информационный инструмент, позволяющий контролировать добычу биологических ресурсов для Росрыболовства, — это отраслевая система мониторинга Росрыболовства (ОСМ) [4–6].

Ежедневно промысловые суда должны передавать отчет о своем местонахождении, статусе судна, улове и ряде других параметров. Практически единственным параметром, формируемым в сообщениях АИС в автоматическом режиме, является местоположение судна.

Задачами ОСМ, связанными с местоположением судов, являются [4]:

- получение и обработка данных о местонахождении и характере промысловой деятельности подконтрольных судов;

- получение и обработка оперативных и статистических данных о производственной деятельности предприятий, занимающихся переработкой морских биоресурсов, и некоторые другие.

В рамках решения этих задач выделяются: детектирование промысловых операций в соответствии с выданными разрешениями, легальные перегрузочные операции, прохождение контрольных точек, нарушение границ особо охраняемых природных территорий [4]. Помимо этого, апостериорный анализ активности судов позволяет косвенно детектировать аномалии вылова определенных видов биоресурсов [5].

Основными событиями, пригодными для автоматической идентификации, являются переход, траление, постановка/выборка ловушек и ярусов, перегруз [6]. Для большинства операций характерны определенные скорости и направления движения судна. В частности, траление характеризуется скоростями 2,5–4 узла, постановка и выборка ярусов имеет две моды в распределении скоростей — 2–4 узла и около 6; характерные скорости для постановки сетей, ловушек — 3–4 узла [7]. Вдали от портов и узкостей наличие у рыболовных судов скоростей 2–4 узла в большинстве случаев свидетельствует о ведении промысла, поэтому на основе карт преимущественного распределения скоростей можно строить карты районов основной добычи биоресурсов [8, 9]. Сравнение подобных карт, построенных в разные годы, позволяет анализировать динамику изменения нагрузки на водные биоресурсы со стороны человека.

Кроме скорости, дополнительным критерием идентификации деятельности судна является характер его перемещений, который определяется технологией промысла.

Для подтверждения передаваемой рыболовными судами информации, а также для идентификации активности судов, которые не входят в компетенцию ОСМ, по регистрируемым сигналам системы АИС можно выделять следующие виды действий, связанных с ведением промысла биоресурсов.

## **Идентификация промысла определенными орудиями**

*Ловля тралом.* В процессе траления рыболовное судно обычно замедляет ход и стремится поддерживать постоянную скорость, чтобы максимально сохранить нагрузку на буксируемую сеть. Длительность операции зависит от скорости наполнения трала и варьируется от нескольких минут до нескольких часов. Трек характеризуется прямолинейностью и скоростью 2,5–5,5 узлов. В работе [10] показано, что на основе скрытой марковской модели, где в качестве переменной используется скорость, можно автоматически выявлять траловую деятельность с точностью 83 %.

*Ловля кошельковым неводом* характеризуется быстрой (скорость порядка 10 узлов) постановкой снастей вокруг обнаруженного косяка рыб. Как правило, судно описывает дугу и возвращается на свой след. Последующая выборка рыбы из невода происходит при дрейфе судна и продолжается до нескольких часов, в зависимости от улова.

*Ловля ярусом* состоит в постановке длинной снасти на дно (обычно несколько километров, для ловли тунца используются ярусы длиной до 100 км) и последующем ее извлечении через некоторое время. Будет судно выбирать снасть, двигаясь в обратном направлении или в порядке постановки, зависит от того, были ли поставлены дополнительные, как правило, параллельные ярусы. В работе [10] авторы добились детектирования промысловой деятельности ярусов с помощью скрытой марковской модели в 77 % случаев с точностью 93 %.

*Ловля ловушками* краба характеризуется постановкой порядков — каната (хребтины), на которой прикреплено 100–200 ловушек на расстоянии 30–50 м. Постановка порядков идет на скорости около 4 узлов, выборка — на скорости 1–3 узла.

Передвижение по одному маршруту с небольшими скоростями позволяет создать алгоритм выявления подобного промысла. Дополнительным событием, позволяющим выделять подъем хребтины, является подход на скорости к месту оставления буя, сброс скорости и кольцевое движение для захвата конца хребтины, в дальнейшем судно движется на пониженной скорости, около 2 узлов, до окончания выборки всего порядка с ловушками (3–5 км). Такое поведение иллюстрируется рис. 1, где показан фрагмент трека судна-краболова.

В последние годы появляются подходы к выявлению промысловой деятельности по смене шаблона поведения судна на основе рекуррентных нейросетей. Так, в [11] рассматривалось применение нейросетей с архитектурой GRU и LSTM, а также рекуррентная нейросеть Элмана; предложенные

методики обработки данных показывают точность детектирования промысловой деятельности на тестовой выборке до 87 %.

### Идентификация возможных мест операций с грузом

*Идентификация возможного перегруза улова/продукции* может выполняться автоматически путем фиксации продолжительного нахождения двух судов в непосредственной близости. Для этого периодичность поступления позиций судов должна быть не менее половины времени, необходимого на перегруз.

*Заход судна в порты* также может учитываться при анализе возможного нелегального сбыта улова/продукции.

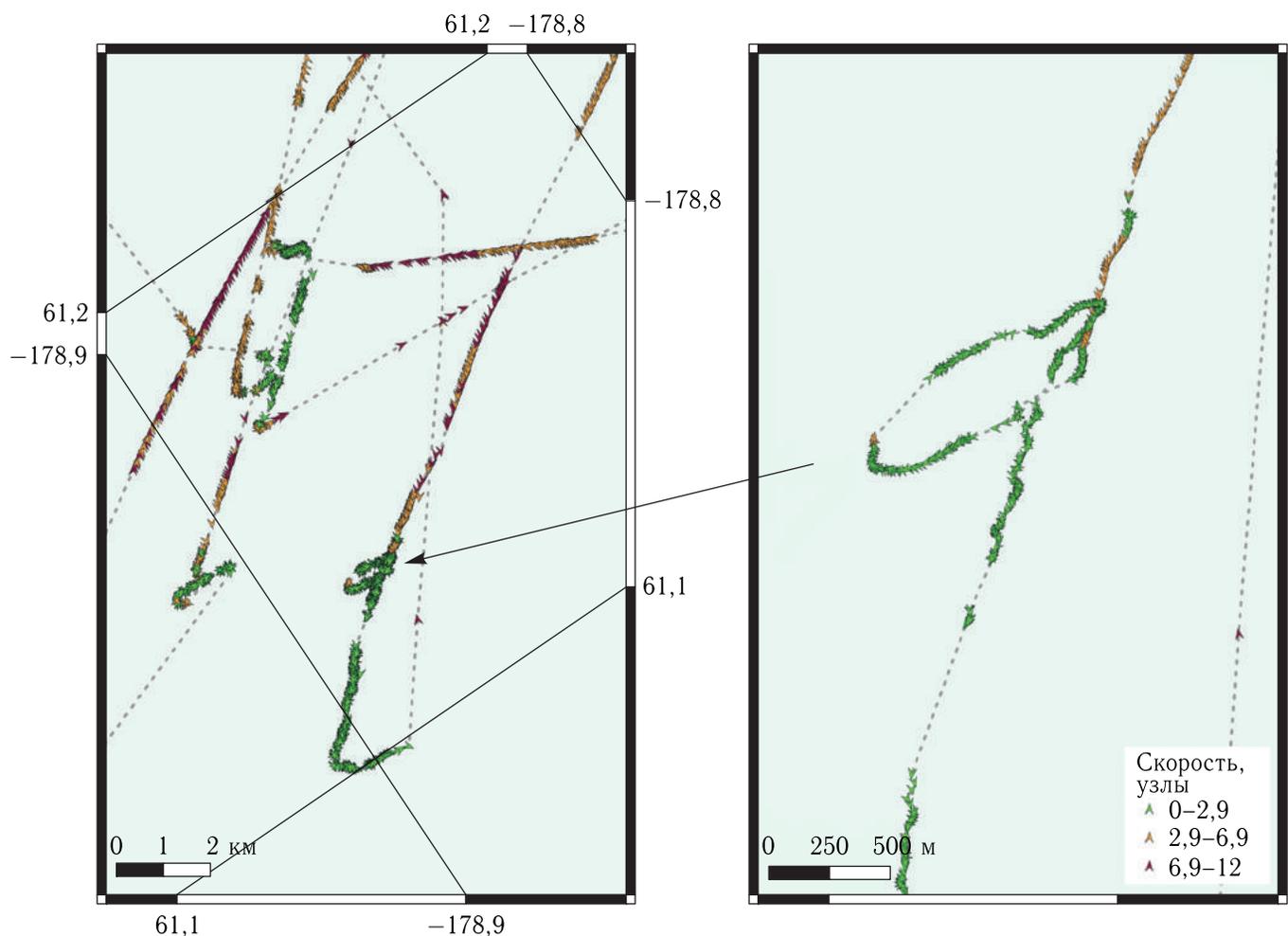


Рис. 1. Карта фрагмента перемещений crabоловного судна «Русь» в Беринговом море

## **Фиксация возможного сокрытия/фальсификации местоположения**

При осуществлении незаконной промысловой деятельности экипаж рыболовного судна может попытаться скрыть или подменить данные о своем местоположении.

*Отключение судном передатчика АИС.* Идентификация отключения передатчика фиксируется в автоматическом режиме по исчезновению позиций судна в определенный период, на фоне присутствия положений остальных судов в этом районе. Единичный случай исчезновения сигнала может быть причиной поломки транспондера, систематические же исчезновения сигналов АИС от определенного судна свидетельствуют о преднамеренном отключении средств опознавания.

*Подмена координат в сигналах АИС* является более эффективным средством сокрытия информации о местоположении, поскольку транспондер АИС не отключается, а лишь определенным способом подменяется спутниковый сигнал ГНСС. Зафиксировать фальсификацию координат можно, применяя независимые методы определения местоположения судна, например по доплеровскому смещению частоты передатчика, регистрируемому на спутниках, либо путем совмещения синхронных спутниковых съемок в видимом диапазоне, данных радиолокатора и АИС.

## **Детектирование присутствия/прохождения судна в определенном регионе**

Отдельной задачей мониторинга судов является выявление присутствия судна в рамках определенного района и определение этого судна. Данная задача решается стандартными функциями геоинформационных систем. При наличии достаточного количества данных можно решить следующие практические задачи:

- детектирование присутствия посторонних судов в пределах особой экономической зоны;
- детектирование присутствия рыболовных судов в пределах закрытых для лова территорий;

– детектирование присутствия рыболовецких судов в промысловых районах в периоды запрета на промысел определенных биоресурсов;

– обнаружение источника разлива нефтепродуктов на основании местоположения пятна и анализа истории местоположений судов в этом районе по данным АИС, с возможным привлечением радиолокационных снимков [12].

## **Требования к данным АИС**

Для того чтобы данные АИС можно было уверенно использовать для идентификации судовой деятельности, необходимо, чтобы они обладали полной и достоверностью.

*Полнота* характеризует непрерывность наблюдения положения судна, без пропусков по времени. Для транспондеров класса А периодичность передачи сообщений местоположения составляет 3,3 — 10 с. Для транспондеров класса В типовые интервалы составляют 30 с, при скорости менее 2 узлов — 3 мин. При изменении курса (маневре) интервал между сообщениями минимален. Радиовещательное сообщение большого радиуса действия (тип 27, предназначенное для приема на КА) передается каждые 3 мин.

Изображенный на рис. 1 разворот на малом ходу (скорость 1,5–2 узла; 1 узел = 1,852 км/ч) радиусом 250 м судно совершает за 25 мин. Это достаточно мелкая, но крайне важная особенность поведения судна-краболова, которая иллюстрирует подход к началу оставленной снасти и ее зацепление. После зацепления снасть выбирают на малых скоростях (те же 1,2–2 узла).

Даже при регистрации на спутнике только сообщения типа 27 разворот будет отмечен восемью точками, что дает возможность идентифицировать этот маневр. Если добавить сюда стандартные отчеты о местоположении, то траектория судна будет получена с большей точностью. Соотношение стандартных отчетов о местоположении и сообщений большого радиуса при приеме на орбите зависит от высоты космического аппарата и конструкции приемника. В общем случае, чем ниже высота спутника, тем меньше коллизий и тем больше стандартных сообщений. С увеличением высоты орбиты количество стандартных сообщений начинает

уменьшаться из-за коллизий [1], а количество сообщений дальнего радиуса, наоборот, растет за счет увеличения зоны радиовидимости. Также, помимо координат и скорости, в данных АИС присутствует значение курса, что позволяет дополнительно детектировать маневры типа разворота. Таким образом, при отсутствии перерывов в данных более 3 мин мы будем иметь полную информацию о передвижениях судна, достаточную для идентификации его деятельности.

*Достоверность* положения судна должна подтверждаться независимыми измерениями с целью исключить возможную фальсификацию координат. Таким способом может выступать определение примерного положения судна по доплеровскому сдвигу частоты и положению спутника, а также анализ непрерывности и непротиворечивости истории местоположений.

### Моделирование приема сигналов АИС спутниковым сегментом

В России на сегодняшний день нет собственной группировки спутников, позволяющей получать данные АИС над всей территорией Земли с высокой

периодичностью (3 мин или меньше) для решения описанных выше задач, но работы в этом направлении ведутся. Для приема сигналов АИС на космических аппаратах «Гонец-М1» планируется размещать аппаратуру БА АИС-М1, которая является развитием БА АИС, предназначенной для работы на КА «Ресурс-ПМ». БА АИС, в свою очередь, разработана с учетом опыта регистрации сигналов АИС на КА «Ресурс-П» № 2 [13].

Для оценки обслуживаемой территории и периодичности приема сигналов АИС при размещении приемников на космических аппаратах спутниковой системы «Гонец-М1» было проведено моделирование зон радиовидимости и регистрации сигналов АИС от модельной группировки судов.

Моделирование спутникового сегмента проводилось для конечного состояния орбитальной группировки — 28 КА в четырех плоскостях, высота орбиты 1500 км [14].

Расчет вероятности приема сообщений АИС на спутниках рассматриваемой группировки (рис. 2, а) демонстрирует уверенный прием на всех широтах, кроме участков с интенсивным трафиком. В основных рыбопромысловых районах РФ группировка

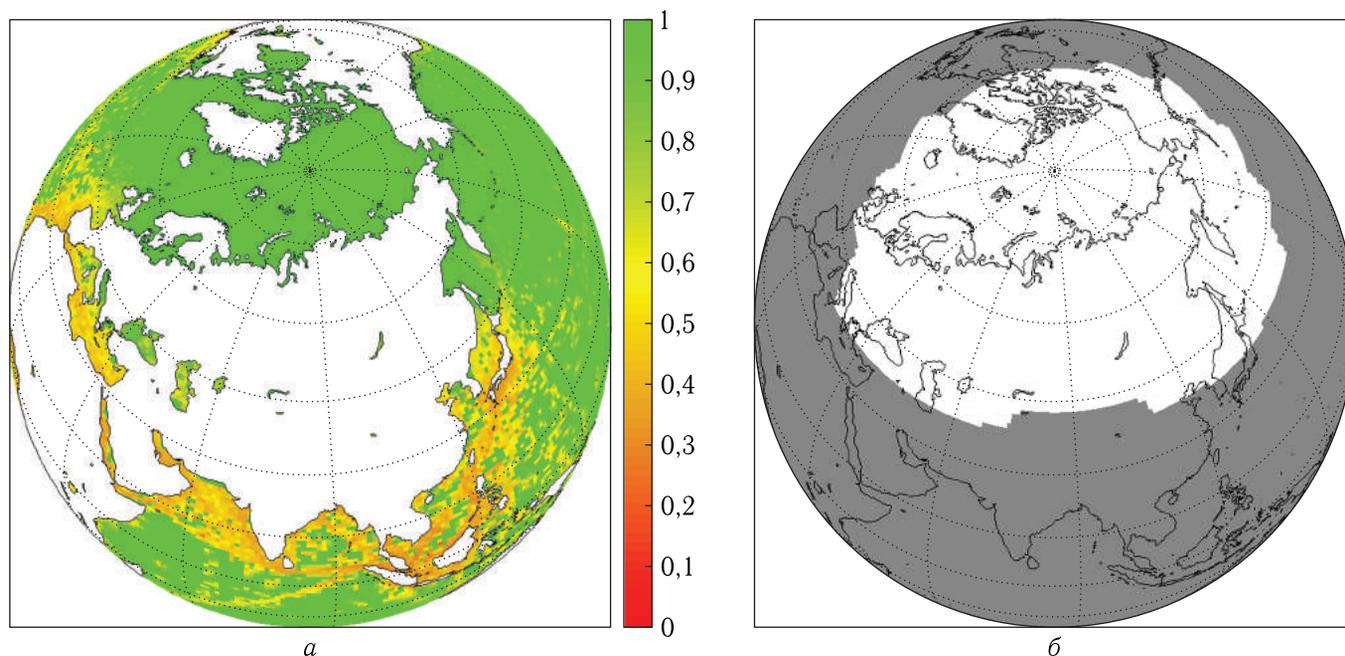


Рис. 2. Результаты моделирования: а — вероятность приема сигналов АИС из различных областей в течение 3 мин группировкой КА «Гонец-М1»; б — область возможной ретрансляции сигналов АИС в наземные системы в режиме, близком к реальному времени (выделено белым цветом)

КА «Гонец-М1» позволит осуществлять прием сообщений АИС и мониторинг судов с периодичностью, достаточной для выявления рыбопромысловой деятельности. Территория особой экономической зоны РФ будет постоянно находиться в зоне видимости нескольких спутников (рис. 2, б). При осуществлении оперативной передачи информации АИС от КА на наземные станции и далее в центр данных у потребителей, в том числе сотрудников Росрыболовства, за счет минимальной задержки в получении данных будет возможность оперативного реагирования на проявления аномальной активности.

## Заключение

Проведенный обзор возможностей получения информации о деятельности рыболовных судов по данным АИС и способах анализа этих данных свидетельствует, что работы по приспособлению этой информации для нужд мониторинга промысловой деятельности активно ведутся в мире.

Применяемые методы идентификации промысловой деятельности варьируют в зависимости от типа промысла и инструментария разработчиков от дискриминационных алгоритмов, основанных на распределении скоростей, до многослойных нейросетей. Судя по динамике развития технологий машинного обучения, на горизонте нескольких лет появятся возможности для детектирования большинства видов промысловой деятельности по данным АИС.

Для успешной работы алгоритмов детектирования и идентификации промысловой деятельности отчеты о местоположении нужно получать с периодом не более 3 мин, для чего необходимо иметь достаточное количество спутников с приемниками АИС необходимой чувствительности.

Моделированием показано, что при установке приемников АИС на КА перспективной группировки «Гонец-М1» получаемый объем данных позволит решать задачи автоматической идентификации промысловой деятельности судов.

## Список литературы

1. Романов А.А., Романов А.А., Урличич Ю.М., Токарев А.С., Кузнецов А.М., Бобровский С.А., Трусов С.В. Космические средства автоматической идентификационной системы. М: Радиотехника, 2016 г. 208 с.
2. Рекомендация МСЭ-R М.1371-5 Технические характеристики автоматической системы опознавания, использующей многостанционный доступ с временным разделением в полосе ОБЧ морской подвижной службы. <http://www.itu.int/publ/R-REC/en> (Дата обращения 15.03.2023).
3. Трусов С.В., Барабошкин О.И., Бобровский С.А. Перспективы использования спутниковой аппаратуры для обмена информацией с морскими судами в ОБЧ-диапазоне с использованием сообщений AIS, ASM, VDE // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2021, т. 8(4). С. 36–46.
4. Пырков В.Н., Солодилов А.В., Дегай А.Ю. Создание и внедрение новых спутниковых технологий в системе мониторинга рыболовства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015, т. 12(5). С. 251–262.
5. Пырков В.Н., Солодилов А.В., Лупян Е.А., Марченков В.В. Анализ тенденций рыболовного промысла с помощью отраслевой системы мониторинга // Десятая Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Сб. тезисов. Москва, ИКИ РАН, 12–16 ноября 2012 г.
6. Дегай А.Ю., Пырков В.Н., Черных В.Н., Солодилов А.В. Рассмотрение возможности классификации треков в системе мониторинга Росрыболовства с использованием современных технических средств контроля // Сб. тезисов докладов Пятнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», ИКИ, 2017.
7. Марченков В.В., Пырков В.Н., Черных В.Н. Использование методов обработки и анализа разнородных данных (data fusion) на примере треков судов рыболовного флота и ежедневных судовых отчетов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012, т. 9 (4). С. 80–86.
8. Natale F., Gibin M., Alessandrini A. Mapping Fishing Effort through AIS Data // PLOS One, 2015, vol. 10, № 6. P. e0130746.
9. Taconet M., Kroodsma, D., Fernandes, J.A. Global Atlas of AIS-based fishing activity — Challenges and opportunities. Rome, FAO, 2019.

10. *De Souza E.N., Bourder K., Matwin S., Worm B.* Improving Fishing Pattern Detection from Satellite AIS using Data Mining and Machine Learning // PLOS One, 2016, 11(7). P. e0158246. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158248>
11. *Ferreira M.D., Spadon G., Soares S., Tatwin S.A.* A semi-supervised methodology for fishing activity detection using the geometry behind the trajectory of multiply vessels // Sensors, 2022, vol. 22 (6). IsP. 6063.
12. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г.* Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН, 2016. 334 с.
13. *Кузнецов А.М., Трусов С.В., Барабошкин О.И., Бобровский С.А., Романов А.А., Романов А.А.* Анализ результатов, полученных за три года работы аппаратуры мониторинга судов БРК АИС, размещенной на спутнике ДЗЗ «Ресурс-П» №2 // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2018, т. 5(4). С. 80–87.
14. *Кузовников А.В., Иванова М.П., Агуреев В.А.* Предложения по построению перспективной системы спутниковой связи // Исследования наукограда, 2015, т. 3(13). С. 4–10.

Дата поступления рукописи  
в редакцию 29.05.2023  
Дата принятия рукописи  
в печать 14.11.2023