

Перспективы комплексного использования современных спутниковых, информационных и коммуникационных технологий для решения задач отраслевой системы мониторинга рыболовства

В.В. Марченков¹, В.Н. Пыркков¹, В.Н. Черных¹, А.В. Солодилов², В.В. Ермаков³

¹ *Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН),
117997, Москва, Профсоюзная, 84/32,
e-mail: pyrkov@d902.smis.iki.rssi.ru*

² *Федеральное государственное учреждение «Центр системы
мониторинга рыболовства и связи» (ФГУ «ЦСМС»),
107996, Москва, Рождественский бул., 12*

³ *ООО «Камчатские системы связи и мониторинга» (ООО «КССМ»),
683031, Петропавловск-Камчатский, Давыдова, 7/40,
e-mail: wwe@mail.ru*

На основе информации о позициях судов, накопленной в базе данных Отраслевой системы мониторинга (ОСМ) Росрыболовства, проводится анализ треков судов рыболовного флота для разных частот опроса позиций. Показано, что частота опроса 2 ч не достаточна для проведения оценок промысловых действий рыболовного флота. Обсуждается возможность повышения частоты опроса позиций за счет использования информации, излучаемой транспондерами Автоматической идентификационной системы (АИС), и сбором ее искусственными спутниками Земли (ИСЗ). Приводятся оценки возможной загрузки каналов связи, используемых транспондерами АИС для обмена информацией, при использовании ИСЗ для мониторинга рыболовного флота в акватории Охотского моря, опираясь только на технологию АИС.

Ключевые слова: АИС, мониторинг, рыболовство.

Введение

Отраслевая система мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью промысловых судов введена в эксплуатацию в 2000 г. в соответствии с решением Правительства РФ. Основные ее разработчики: ФГУП «ВНИЭРХ», ИКИ РАН, ФГУП «КЦСМ», ЗАО «ТРАНЗАС», ДГУП «МРЦМ», ФГУП «ГИПРОРЫБФЛОТ». Пользователями ОСМ являются подразделения Росрыболовства, Пограничной службы ФСБ России, Военно-Морского флота, МВД РФ, Федеральной таможенной службы и других заинтересованных федеральных органов исполнительной власти. В настоящее время система — крупнейшая в мире. Под ее контролем находятся более 3500 судов.

Информация о позициях судов рыбопромыслового флота поступает в ОСМ по зарубежным каналам спутниковой связи Inmarsat и Argos.

Одна из основных функций ОСМ — определение соответствия местоположения и маневров судов, характерных для определенных промысловых действий (промысловые операции в соответствии с выданными разрешениями, легальные перегрузочные операции, прохождение контрольных точек, нарушения границ заповедников), правилам рыболовства и иным нормативным правовым документам, регламентирующим вопросы рыболовства и сохранения водных биоресурсов. Спутниковые группировки Inmarsat и Argos предоставляют канал связи с установленными на судах датчиками координат (в настоящее время используются данные GPS). Система Argos, в дополнении к предоставлению канала связи, позволяет определять координаты судов на основе эффекта Доплера.

В 2011 г. на рынке услуг глобального мониторинга судов появилась новая технология спутникового мониторинга, опирающаяся на сообщения датчиков АИС (IALA..., 2002). Принцип действия АИС, при стандартном использовании, основан на автоматическом обмене информа-

цией между судами с помощью приемо-передатчиков УКВ-диапазона (транспондеров). Передача данных осуществляется на международных каналах связи AIS-1 (161,975 МГц) и AIS-2 (162,025 МГц) в протоколе SOTDMA (Self Organising Time Division Multiple Access).

В сообщениях, которыми обмениваются суда, содержится информация о грузе, порте приписки, координатах, курсе и т. д. Работа передающих станций АИС жестко синхронизирована по UTC-времени сигналами приемника GPS с погрешностью не более 10 мкс. Для передачи информации используются непрерывно повторяющиеся кадры длительностью 1 мин, которые разбиваются на 2250 слотов (временных интервалов) длительностью 26,67 мс.

В обмене сообщениями, кроме судовых транспондеров, могут быть задействованы береговые станции системы АИС. Сообщения береговых станций предназначены для управления режимом работы судовых станций и передают им информацию, связанную с безопасностью мореплавания (местные навигационные предупреждения, дифференциальные поправки для координат и др.). Поскольку обмен информацией проводится в УКВ-радиодиапазоне, радиус действия судовых передатчиков ограничивается 20...30 миль при обмене информацией между судами и до 150 миль при взаимодействии с передатчиками береговой станции АИС, однако прием сигналов передатчиков судовых АИС возможен также и низкоорбитальными спутниками Земли. Это позволяет рассматривать информацию, передаваемую транспондерами АИС, как средство решения задач глобального мониторинга судов.

Эксперименты по анализу и расшифровке информации от судовых АИС, получаемой с помощью УКВ-приемников, размещенных на низкоорбитальных ИСЗ, подтвердили перспективность этого подхода. На сегодняшний день создано две компании, которые на коммерческой основе обеспечивают глобальный мониторинг судов и представляют информацию заинтересованным лицам (ORBCOMM Inc., exactEarth Ltd.)

В настоящей работе анализируется возможность использования уже накопленных в ОСМ данных для решения задач, связанных с анализом треков судов. Необходимость решения подобных задач возникает при анализе промысловых действий судов, прогнозировании распределения природных ресурсов и т. д.

Проводится оценка технических параметров, которыми должна обладать система спутникового мониторинга, использующая транспондеры судовых АИС, в качестве источника данных о позициях судов рыболовного флота. Эта задача непосредственно связана с перспективами развития системы мониторинга рыболовного флота за счет новой технологии, опирающейся на сигналы транспондеров АИС.

Методика

Для анализа влияния частоты опроса позиций на возможность интерпретации треков судов использовались данные о позиционировании судов с близкими техническими и геометрическими характеристиками. Были произвольно выбраны два таких судна, единственным отличием являлась разная частота опроса позиций. Одно судно использовало для связи Inmarsat, а другое — Argos. Для надежной интерпретации участков трека, соответствующих переходу к месту лова, были просмотрены треки судов от момента выхода их из порта. На первом этапе исследования трека проводился его визуальный анализ. Затем с помощью имеющихся в ОСМ судовых суточных донесений (ССД), содержащих сведения о промысловых операциях и их продолжительности, проводилась интерпретация, выявленных на первом этапе особенностей трека. К особенностям трека мы относили заметное изменение скорости перемещения, смена курса и частота смены курса.

Для анализа выбрали акваторию Охотского моря, как наиболее насыщенную судами рыболовного флота согласно данным ОСМ.

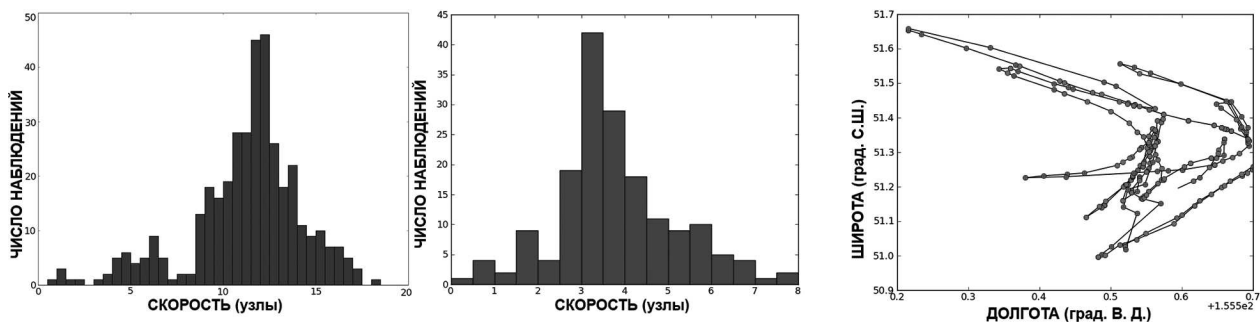


Рис. 1. Судно, использующее для связи ARGOS. Распределение скоростей: а — движущегося по прямому участку трека; б — на участке трека, идентифицируемом как траленье; в — вид трека на участке, интерпретируемом как траленье

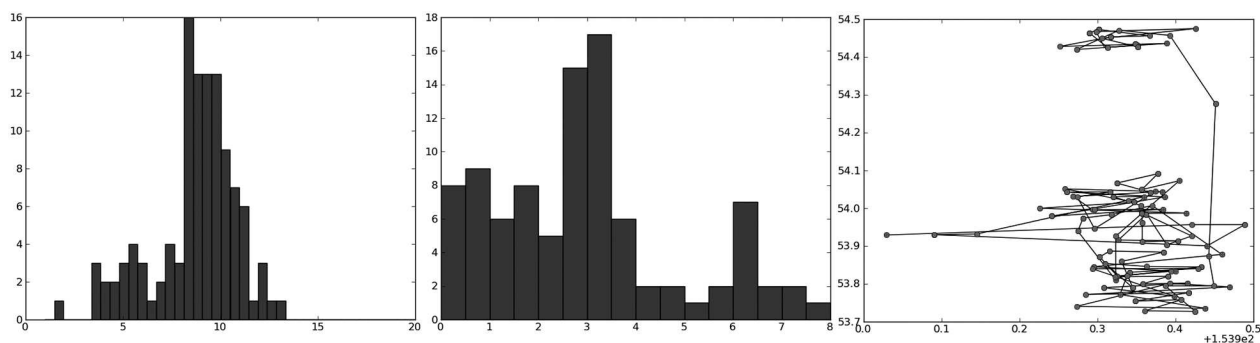


Рис. 2. Судно, использующее для связи Inmarsat. Распределение скоростей: а — движущегося по прямому участку трека; б — на участке трека, идентифицируемом как траленье; в — вид трека

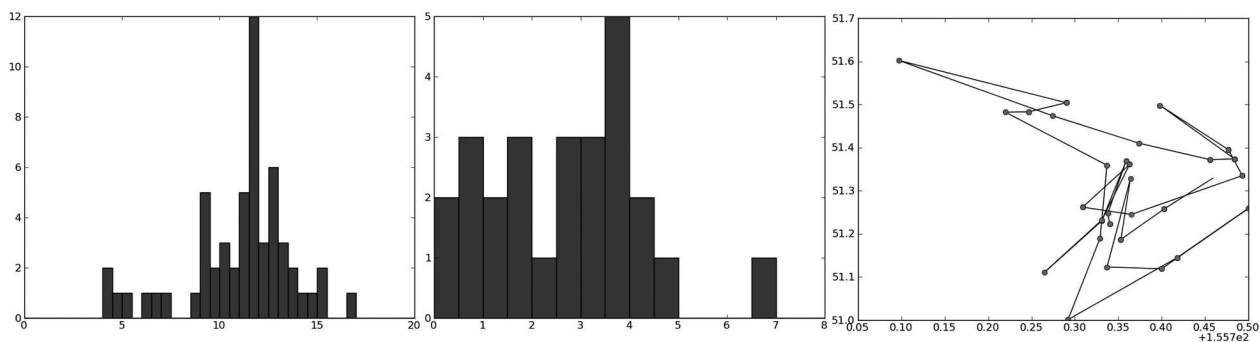


Рис. 3. Судно, использующее для связи ARGOS. Распределение скоростей (отобраны позиции, замеряемые через 2 ч): а — движущегося по прямому участку трека; б — на участке трека, идентифицируемом как траленье; в — вид трека

Данные

Данные о позициях судов, использующие для связи Argos и Inmarsat, отличаются частотой опроса: 15...30 мин для первой системы связи и около 2 ч для второй. Интервал времени между докладами о позициях не является константой по разным причинам. Судно может входить в разные списки, задающие разные интервалы опроса, что приводит к появлению позиций, отстоящих по времени ближе, чем типовое время опроса. Для анализа были выбраны треки, построенные на основе данных о позициях судов, полученные в период с декабря 2010 г. по май 2011 г.

Пространственное распределение судов оценивалось на 12 мая 2011 г., 2:00 UTC, в квадрате, ограниченном 43...59° с.ш. и 139...155° в.д. Для анализа были отобраны позиции, полученные в интервале времени от 00:00 UTC до 05:00 UTC. В эту выборку попало более 400 судов.

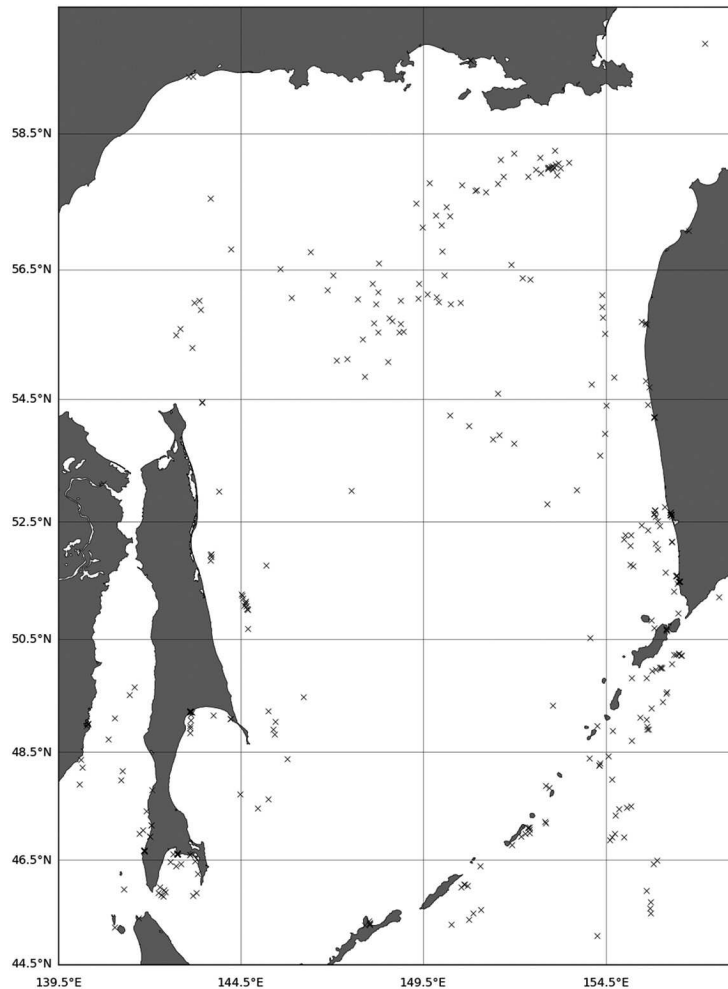


Рис. 4. Пространственное распределение судов

Обработка данных при анализе треков судов

При анализе треков использовали скорость судна между двумя позициями, которая рассчитывалась в предположении, что между соседними по времени позициями судно движется равномерно и прямолинейно. Если пронумеровать позиции судна, то для позиции с номером i мы получим формулу

$$V(i) = \frac{S(i+1, i)}{t(i+1) - t(i)}, \quad (1)$$

где $S(i+1, i)$ — расстояние между точками трека с номерами $i+1$ и i ; $t(i)$ — время наблюдения судна в позиции с номером i .

Для каждого из судов были выбраны участки трека, соответствующие переходу от порта до места промысла. Затем отбирали участки из той части трека, где согласно ССД, проходило траленье. При отборе участков, интерпретируемых нами, как траленье, мы учитывали форму трека, скорость между соседними точками, частоту смены направления движения судна. На рис. 1а–в представлены результаты обработки позиционных данных для судна, использующего для связи ARGOS. На рис. 1а показано распределение скоростей для участка трека, соответствующего перемещению судна по прямой; на рис. 1б — для участка, интерпретируемого как траленье (здесь и на всех следующих подобных диаграммах по горизонтали отложена скорость в узлах, а по вертикали — число наблюдений скорости судна в соответствующем интервале скоростей); на рис. 1в — участок трека, который интерпретируется как траленье (здесь и на последующих подобных рисунках трек построен в географических

координатах, т. е. по горизонтали градусы восточной долготы, по вертикали градусы северной широты).

На рис. 1а видно, что значения скорости довольно симметрично распределены вокруг величины 12...13 узлов, что согласуется с техническими характеристиками судна — максимальная скорость 13 узлов. Зафиксированные на рис. 1б значения скорости 20 узлов отражают шумовую составляющую, проявляющуюся за счет неточностей при определении координат с помощью GPS. Небольшой пик в области более низких значений скорости (5...6 узлов) вызван замедлением судна, отчетливо наблюдаемым на треке, а не шумовой составляющей.

Распределение скоростей для части трека, интерпретируемой нами как траленье, представлено рис. 1б. Оно выглядит довольно симметрично распределенным вокруг значения 3...4 узла. С точки зрения топологии, перемещения судна на этом участке выглядели как возвратно поступательные (рис. 1в). На характерный участок элементов возвратно-поступательного перемещения судна попадало несколько позиций. Всего на этом участке 191 позиция, средний интервал между позициями около 19 мин.

На рис. 2 представлены аналогичные рис. 1 характеристики трека судна, использующего для связи Inmarsat. Распределение скоростей на переходе к месту добычи (рис. 2а) не сильно отличается от распределения, представленного на рис. 1а. Средняя скорость перехода 9...10 узлов и зафиксированная максимальная скорость 13 узлов согласуются известными техническими данными судна (максимальная скорость 13 узлов). Небольшой пик в районе 5...6 узлов также вызван замедлением на прямом участке. Распределение скорости вокруг среднего значения выглядит симметричным. Для участка, интерпретируемого как траленье (рис. 2б), распределение скоростей приобрело сильно несимметричный вид. При анализе был использован участок трека, содержащий 99 позиций, определяемых с интервалом приблизительно 2 ч. В виду малой частоты наблюдений, для анализа использовался участок трека, состоящий не только из траленья, но и небольших переходов на скорости выше характерной для траленья. Визуально трек тралящего судна выглядит как хаотичные перемещения в разных направлениях (рис. 2в).

Значительные отличия в характере треков могли быть вызваны разными причинами. Для выяснения вклада в эту картину интервалов времени между определением позиций был проведен численный эксперимент, результаты которого представлены на рис. 3а–в. Для эксперимента были взяты данные, представленные на серии рис. 1, но только позиции, отстоящие друг от друга на время около 2 ч. По прореженным данным были построены распределения скоростей (рис. 3а, б), а также трек, соответствующий участку траленья (рис. 3в). В трек вошло 26 позиций со средним интервалом между замерами 140 мин.

Полученные распределения похожи на представленные на рис. 2а–в: наблюдается потеря симметричности распределения скоростей на участке траленья и хаотичный вид трека на этом участке.

Обработка данных при анализе пространственного распределения судов

Для выяснения условий работы транспондеров АИС на судах рыболовного флота были сделаны попытки восстановить пространственное распределение судов на некий условный момент времени, опираясь на данные, хранящиеся в ОСМ. При этом предполагалось, что транспондеры установлены на все суда — самый жесткий режим для сбора данных в такой системе мониторинга.

Восстановления пространственного распределения судов рыболовного флота не может быть проведено просто с помощью обращения к базе позиционных данных, поскольку, в силу различных обстоятельств, опросы позиций судов происходят не строго в одно время. Поэтому для восстановления пространственного расположения судов на некий конкретный момент времени необходимо оценить положение каждого судна по известным позициям до и после интересую-

щего нас момента времени. Процедура восстановления проводилась следующим образом.

Из имеющегося набора данных были отобраны позиции судов, удовлетворяющие требованию наличия позиции до и после времени 2:00 UTC. Затем в предположении, когда справедлива формула (1), были оценены позиции судов в 2:00 UTC.

На следующем этапе анализировался характер полученного пространственного распределения, для чего позиции были поделены на группы, руководствуясь следующим условием: судно входило в группу, если расстояние до одного из судов, уже находившихся в группе, не превышало 20 миль. В результате мы получили 16 групп. Минимальное число судов в группе — 2, максимальное — 54 судна. Судов, которые не вошли ни в одну группу, оказалось 55. Полученное распределение судов по группам сведено в табл. 1.

Таблица 1. Распределение судов по численности в группе. В группу включаются суда, если расстояние между судном и одним из судов в группе меньше 20 миль

№ п/п	Число судов в группе	Число групп
1	1	55
2	2	17
3	3	7
4	4	8
5	5	2
6	6	3
7	7	3
8	8	2
9	12	1
10	14	1
11	18	1
12	22	1
13	23	1
14	32	1
15	38	1
16	54	1

Обсуждение

Необходимость интерпретации треков возникает при решении задач количественной оценки промысловых действий судов рыболовного флота, построения карт промысловых усилий, анализа распределения промысловых запасов и т. д. (Deng et al., 2005; Mills et al., 2007; **Bastardie et al., 2010**). Не вызывает сомнения, что трек судна при тралении будет зависеть от множества причин: погодных условий, геометрии дна, индивидуальных навыков капитана, опыта команды, перемещении рыбьего косяка и т. д. Уточнение применимости тех или иных методов обработки данных невозможно провести без анализа характера этих данных. Основным критерием правильности интерпретации будет соответствие здравому смыслу получаемых результатов.

Поскольку средние значения скоростей, развиваемых судном при переходе, полученные при анализе треков, согласуются с техническими характеристиками судов, эти данные можно считать надежными. В случае позиционирующегося через Argos судна данные, относящиеся к процессу траления, кажутся также достаточно разумными. Значит, подобные наборы данных (время между замерами позиций не превышает 20 мин) можно достаточно надежно интерпретировать.

Для судов, позиционирующихся через Inmarsat, данные, особенно относящиеся к процессу траления, не столь информативны. Если рассматривать треки судов как набор отчетов, то, применив к ним теорему Котельникова (Котельников, 1933), мы можем утверждать, что восстановление области траления возможно только тогда, когда время между отчетами меньше, чем период одного цикла траления в не менее чем два раза. Как следует из данных, приведенных на рис. 1в, сделать однозначный вывод о периоде одного цикла траления — непростая задача из-за сложной формы траектории, по которой движется судно. Можно говорить о неком среднестатистическом определении интервалов времени, которые отделяют надежные данные от ненадежных. Например, анализ данных, накопленных в Австралийской системе мониторинга (Deng и др., 2005), позволил сделать вывод, что максимальный интервал опроса не должен превышать 30 мин. В работе (Hitzen et al., 2010) приводится описание успешной интерпретации данных траления при частоте выборки 1...2 ч. Однако дополнительно к позиционным данным в расчетах использовались скорость судна и его курс, что расценивается авторами данной статьи как эквивалентная компенсация отсутствующих позиций, т. е. для восстановления трека были использованы данные с эффективным временем между позициями 30...60 мин. Оба эти результата согласуются с нашим выводом, что время между определениями позиций 20 мин достаточно для восстановления сложного трека судна.

Одним из возможных способов повышения частоты позиционирования судов можно рассматривать технологию АИС, собирающую сигналы судовых транспондеров АИС с помощью низкоорбитальных спутников. При анализе возможности использования в ОСМ данных о позициях, получаемых от судовых АИС, встает задача оценки на количественном уровне потоков информации, которые потребуются обработать ИСЗ, входящему в систему глобального мониторинга АИС. В силу большой площади, с которой ИСЗ собирает информацию, возникает специфическая для этой системы проблема — выделение единичного сообщения на фоне работающих одновременно нескольких передатчиков. Для проведения оценки количества передатчиков и распределения сеансов передач по времени было восстановлено пространственное распределение судов в акватории Охотского моря.

Результаты, представленные в табл. 1, позволяют оценить количественно число одновременно работающих передатчиков, если считать, что суда, входящие в каждую из групп, организуют сети схожим образом, т. е. на одно и то же время во всех группах будет назначена передача информации одному из передатчиков, входящих в группу. Полагая, что суда, не входящие в группу, передают информацию одновременно с одним из судов в каждой из групп, приходим к распределению передатчиков по времени передачи, представленному в табл. 2.

Таблица 2. Оценка количества одновременно работающих передатчиков судовых АИС

№ временного слота	Число передатчиков
1	105
2	50
3	33
4	26
5	18
6	16
7	13
8-54	1

Выводы

Для решения задач, связанных с анализом треков судов рыболовного флота, позиционные данные, полученные с интервалом два и более часа, малопригодны. Сокращение интервала между замерах позиций судов, использующих Inmarsat, с 2...3 ч до 30 мин может существенно повысить информативность данных. В качестве альтернативы можно рассма-

тривать позиционирование с интервалом 1 ч, но в этом случае данные о позициях необходимо дополнять также величиной скорости и направлением движения судна.

Применение новых технологий мониторинга судов, с помощью транспондеров АИС, позволяет значительно повысить информативность собираемых данных о позициях судов.

Для успешного применения технологии глобального мониторинга, использующей информацию, пересылаемую транспондерами АИС, потребуются приемники сигналов, способные выделять сообщения на фоне более 100 одновременно ведущихся передач.

Литература

1. *Котельников В.А.* О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи // Всесоюзный энергетический комитет. Материалы к 1-му Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. По радиосекции. М.: Управление связи РККА, 1933. С. 1–19.
2. *Bastardie F., Nielsen J., Ulrich C., Egekvist J., Degel H.* Detailed mapping of fishing effort and landings by coupling fishing logbooks with satellite-recorded vessel geo-location // *Fisheries Research*. 2010. V. 106. P. 46–53.
3. *Deng R., Dichmont C., Milton D., Haywood M., Vance D., Hall N., Die D.* Can vessel monitoring system data also be used to study trawling intensity and population depletion? The example of Australia's northern prawn fishery // *Canadian J. Fisheries and Aquatic Sciences*. 2005. V. 62. P. 611–622.
4. *Hitzen N.T., Piet G.J., Brunel T.* Improved estimation of trawling tracks using cubic Hermite spline interpolation of positioning registration data // *Fisheries Research*. 2010. V. 101. C. 108–115.
5. IALA Guidelines on the Universal Automatic Identification System (AIS). V. 1. Pt. 2. Technical Iss. Ed. 1.1. December 2002.
6. *Mills C., Townsend S., Jennings S., Eatwood P., Houghton C.* Estimating high resolution trawl fishing effort from satellite-based vessel monitoring system data // *ICES J. Marine Science*. 2007. V. 64. N. 2. P. 248–255.

Prospects for integrated use of modern satellite information and communication technology to system for monitoring fishing activities

V.V. Marchenkov ¹, V.N. Pyrkov ¹, V.N. Chernykh ¹, A.V. Solodilov ², V.V. Ermakov ³

¹ *Space Research Institute,
117997, Moscow, Profsouznaya, 84/32,
e-mail: pyrkov@d902.smis.iki.rssi.ru*

³ *Federal State Department "The Centre of fishery monitoring
and communication" (FSD «CFMC»),
107996, Moscow, Rogdestvenskiy bul., 12*

² *Kamchatka systems of communication and monitoring Ltd,
683031, Petropavlovsk-Kamchatka, Davidova, 7,
e-mail: wwe@mail.ru*

Based on the information about vessels' positions, stored in the database of Rosrybolovstvo, the analysis is made on the fishing fleet tracks for different frequencies of locations polling. It was shown that 2 hours polling frequency is not enough for making assessments of the fleet fishing activities. The authors discuss the possibility of raising frequency by using data emitted by AIS transponders and collecting it with SatAIS. Estimates are made of possible loading of communication channels, designed for AIS transponders data exchange, with SatAIS used for monitoring fishing fleets in Ockhotsk Sea area.

Keywords: AIS, monitoring, fishery.